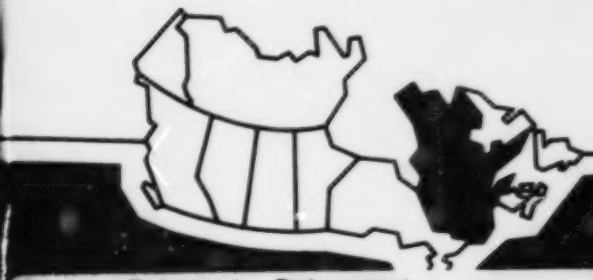
Environment Canada | Environnement Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

Biomass prediction equations for twelve commercial species in Quebec

D. Ouellet



Information Report LAU-X-62E

Laurentian Forest Research Centre

Environment Canada | Environnement Canada

00892341 DEST PVM EXCH COPY 03
SB 761 C328
VOL ISS 62
INFORMATION REPORT (LAURENTIAN FORE
ST RESEARCH CENTRE)

Energy from the Forest

Canada

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Biomass prediction equations for twelve commercial species in Quebec

ENFOR Project P-236

D. Ouellet

Information Report LAU-X-62E
1983

Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada

Copies are available free of charge from:
Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada
1080, route du Vallon
P.O. Box 3800
SAINTE-FOY, Quebec G1V 4C7

Catalogue No. Fo46-18/62E
ISSN 0703-2196
ISBN 0662-12912-1

© Department of Supply and Services Canada, 1983

Aussi disponible en français sous le titre
"Équations de prédiction de la biomasse de douze essences commerciales du Québec"

FOREWORD

ENFOR is the bilingual acronym for the Canadian Forestry Service's ENergy from the FORest (ENergie de la FORêt) program of research and development aimed at securing the knowledge and technical competence to facilitate, in the medium to long-term, a greatly increased contribution from forest biomass to our nation's primary energy production. This program is part of a much larger federal government initiative to promote the development and use of renewable energy as a means of reducing our dependence on pretroleum and other non-renewable energy sources.

ENFOR projects are selected from among proposals submitted by private and public research organizations according to scientific and technical merit in the light of program objectives and priorities. Regardless of proposal source, projects are carried out primarily by contract. For further information on the ENFOR program, contact:

ENFOR Secretariat
Canadian Forestry Service
Department of the Environment
Ottawa, Ontario
K1A 1G5

or the director of the establishment from which this report originates.

This report, based on ENFOR Project P-236, was prepared by the Canadian Forestry Service. Biomass data for nine species were collected under contract (DSS File No. 11SD-KH303-2-C-013) by Blais, McNeil, Lussier et Associés.

Biomass equations for black spruce have already been published (Ouellet 1983).

TABLE OF CONTENTS

	Page
FOREWORD	i
ABSTRACT	v
RÉSUMÉ	v
INTRODUCTION	1
METHODOLOGY	1
RESULTS	6
DISCUSSION	7
CONCLUSION	13
ACKNOWLEDGEMENTS	14
REFERENCES	14
APPENDIX 1. Sampling procedure	17
APPENDIX 2. Description of components	25
APPENDIX 3. Applicable range of equations for components of each species	31

LIST OF TABLES

Table		Page
1.	Breakdown of number of trees by species and by management unit	4
2.	Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for eastern white pine and red pine	8
3.	Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for jack pine and balsam fir	9
4.	Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for white spruce and red spruce	10
5.	Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for tamarack and trembling aspen	11
6.	Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for yellow birch and white birch	12
7.	Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for maples	13

LIST OF FIGURES

Figure		
1.	Public forest management units in Quebec	2
2.	Description of components - coniferous species	28
3.	Description of components - deciduous species	29

ABSTRACT

Biomass prediction equations were constructed for twelve commercial species from sampling conducted throughout Quebec. The coniferous species studied include eastern white pine (*Pinus strobus* L.), red pine (*Pinus resinosa* Ait.), jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.), white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.), and tamarack (*Larix laricina* (Du Roi) Koch.). The deciduous species are trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.), yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britt.), white birch (*Betula papyrifera* Marsh.), sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.), and red maple (*Acer rubrum* L.). The equations are designed to predict the green and ovendry masses of the total above-ground tree, the stem, the merchantable stem, the wood and the bark of the merchantable stem, and the crown. The equations use the diameter at breast height and the total height as predictors.

RÉSUMÉ

Des équations de prédiction de la biomasse forestière de douze essences échantillonnées à travers le Québec ont été construites. Ces essences sont pour les résineux: le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.), le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), et le mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) Koch.). Pour les essences feuillues, ce sont: le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.), le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.), l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et l'érable rouge (*Acer rubrum* L.). Ces équations ont pour but de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre total (partie située au-dessus du niveau du sol), de la tige, de la partie marchande de la tige, de son bois et de son écorce, ainsi que de la cime. Les équations utilisent le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'arbre comme variables explicatives.

INTRODUCTION

Canada is currently forced to rely on considerable foreign oil imports to meet its energy needs. It is generally agreed that this reliance on foreign supply leaves Canada vulnerable since the availability and price of oil is subject to world market conditions and the international political situation. Among the alternative solutions being considered, renewable resources are of particular interest. Also, in the coming decades, Canada must expect to come under steadily increasing pressure from the rest of the world to make available its natural resources (Barney *et al.* [1981]).

Research into forest biomass is one of the ways we are working to prepare for the future. The aim of this particular study is to provide biomass prediction equations for the major commercial species in Quebec. These equations are designed to be applied to data from volumetric inventories, for which the most commonly measured parameters are diameter at breast height and total height.

Prediction equations for black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) have already been published (Ouellet 1983). The present study focuses on (1) seven coniferous species: eastern white pine (*Pinus strobus* L.), red pine (*Pinus resinosa* Ait.), jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.), white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.), and tamarack (*Larix laricina* (Du Roi) Koch.); and (2) five deciduous species: trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.), yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britt.), white birch (*Betula papyrifera* Marsh.), sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.), and red maple (*Acer rubrum* L.). Prediction equations have been produced for the green and oven-dry masses of the total above-ground tree and its major components.

METHODOLOGY

Sampling for the twelve species was conducted throughout Quebec. Samples for three of the species (eastern white pine, red pine, and tamarack) were collected by a team from Laurentian Forest Research Centre, while

those for the other species were gathered by a private firm under contract. Figure 1 shows Quebec's public forest management units and table 1 indicates the number of trees sampled by species and by management unit. For the study, data on sugar maple and red maple sample trees were combined, since the number of red maple sample trees was insufficient to generate valid equations. Graphical examination of the data for the two species served to verify their compatibility. A description of the sampling procedure is given in Appendix 1, and Appendix 3 indicates the range of diameter at breast height and total height values sampled for each species.

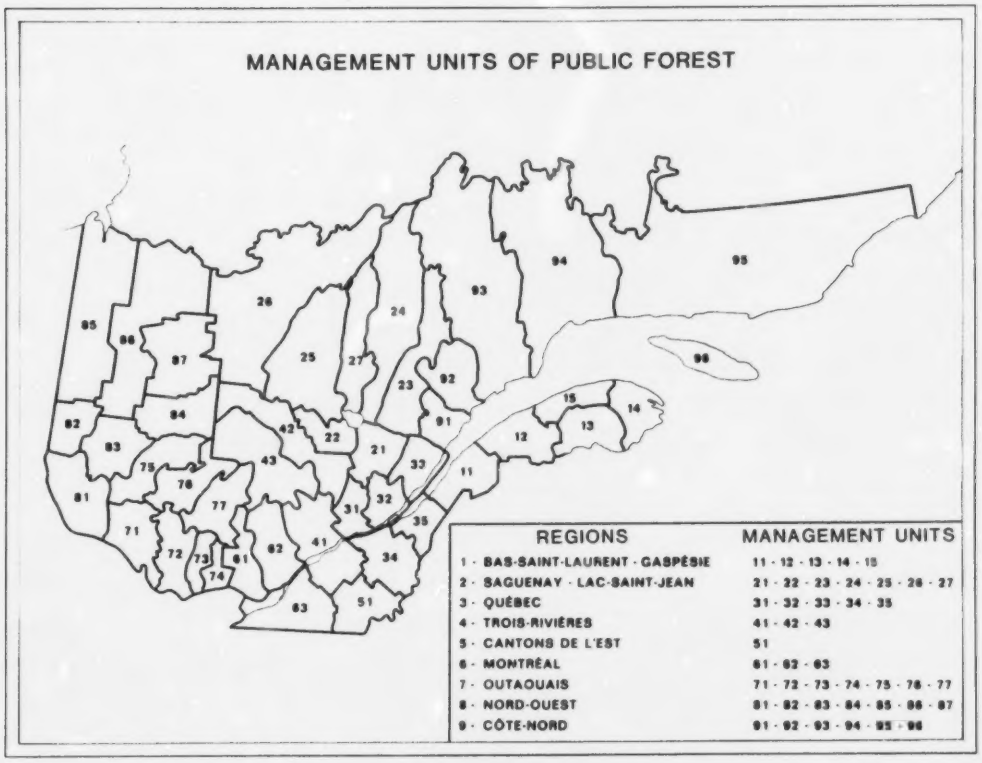


Figure 1. Public forest management units in Quebec

The components used in the study were:

1. total above-ground tree (coniferous and deciduous);
2. total stem (coniferous);
3. merchantable stem (coniferous and deciduous);
4. wood of merchantable stem (coniferous and deciduous);
5. bark of merchantable stem (coniferous and deciduous); and
6. crown, including live branches, foliage, and fruit (coniferous and deciduous).

These components are defined in Appendix 2.

The equation models tested were of two types, linear and nonlinear. Linear models take the general form:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_p x_p + \varepsilon \qquad (1)$$

where y is the mass of a component, x_i (i = 1, ..., p) is some combination of the diameter at breast height (D) and/or the total height (H), β_i is the coefficient for x_i, and ε is the error. Such models are frequently used for calculating biomass (Alemdag 1981, 1982; Ker 1973, Ker and van Raalte 1981; Lavigne and van Nostrand 1981; Singh 1982). The selected nonlinear model is of the form:

$$y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon \qquad (2)$$

Only models using D and H as predictors were considered in this study. The linear models yielded coefficients of determination (R^2) equal to or slightly lower than those obtained for the nonlinear model, depending on the predictors used (in the linear models). Coefficient of determination is not an adequate criterion for selecting a model, however, and analysis of the residuals was used to assess the extent to which the models fit the data. This type of analysis was applied to the ovendry masses of the total above-ground tree, the stem, and the crown. For the components and species studied, the best fit on the whole was obtained with the nonlinear model (2). In addi-

Table 1. Breakdown of number of trees by species and by management unit

- WS:*	12- 13 - 15 - 23 - 31 - 32 - 41- 81	
(79)	(1)(29) (15) (16) (1) (15) (1) (1)	
- RS:	31 - 35 - 81	
(55)	(3) (51) (1)	
- TL:	12 - 13 - 31 - 71	
(97)	(29) (13) (42) (13)	
- EWP:	71 - 72	
(56)	(23) (33)	
- JP:	25 - 41 - 43 - 71 - 85 - 87	
(136)	(45) (15) (30) (1) (12) (33)	
- RP:	71 - 72	
(53)	(21) (32)	
- BF:	13 - 15 - 23 - 31 - 32 - 35 - 83 - 86 - 91 - 93	
(177)	(15) (14) (25) (27) (12) (38) (2) (1) (33) (10)	
- YB:	31 - 34 - 41 - 51 - 62 - [illegible] - 77 - 81	
(130)	(17) (15) (25) (29) (2) (15) (5) (22)	
- WB:	13 - 15 - 25 - 31 - 34 - 35 - 42 - 43 - 51 - 62 - 81 - 83	
(101)	(2) (1) (5) (1) (5) (5) (14) (10) (1) (7) (1) (49)	
- SM-RM:	34 - 51 - 62 - 72 - 77	
(134)	(15) (30) (45) (14) (30)	
- TA:	25 - 27 - 43 - 81 - 86 - 87	
(133)	(30) (15) (9) (35) (30) (14)	

* The figures in the upper row refer to management units. The figures, in parentheses, in the lower row indicate the number of sample trees in each management unit. The signification of symbols used is shown for each species in **Appendix 3.**

tion to being flexible, this model has the advantage of keeping the same form for all components of the species studied. By contrast, separate linear models must often be used to obtain the best fit for different species. The nonlinear model is very popular for predicting tree biomass, and the researchers who use it unanimously claim that it yields results equivalent or superior to those obtained with linear models.

The coefficients for model (2) are estimated by iterative least squares method (Jennrich 1981) for all species. This technique for minimizing the sum of the squares of the errors has the disadvantage of not always yielding a single solution (Draper and Smith 1981). However, for all components and species under study, convergence was arrived at rapidly and the regression coefficients proved to be stable. Some authors prefer to linearize the model by means of a logarithmic transformation rather than using the iterative algorithm. However, such transformations introduce a bias into the distribution of the predicted values of the variable y in the conversion back to arithmetic units, and suitable corrections must therefore be made (Baskerville 1972). Both methods therefore have their advantages and disadvantages. Another disadvantage of using the iterative algorithm is the difficulty in making statistical inferences, particularly in calculating confidence intervals for the predicted values $\hat{y}$. The procedure for establishing these intervals is not standard and must be derived for the individual model.

Heteroscedasticity of errors occurs in biomass data just as it does in volume measurement data. The assumption of equal variance therefore does not hold, and the regression coefficients obtained by the least squares method remain unbiased but are no longer at minimum variance. Statistical inferences, particularly the confidence intervals for the predicted values $\hat{y}$ thus become less precise. To correct this problem, we used a weighted least squares technique in which the sum of the squares to be minimized is:

$$\Sigma\, w_i\, (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{3}$$

where

$$w_i = \frac{k^2}{\sigma_i^2} \tag{4}$$

k^2 is a constant and σ^2 is the error variance.

The weighting factor (w_i) is thus inversely proportional to the variance (σ^2). Graphical analysis of the residuals ($y_i - \hat{y}_i$) shows that they increase with diameter at breast height. This observation, supported by the literature on biomass and volume measurement, prompted us to formulate the following hypothesis:

$$\sigma_i^2 = k^2\, D_i^{\delta} \tag{5}$$

from whence

$$w_i = \frac{1}{D_i^{\delta}} \tag{6}$$

The problem is therefore to find the exponent δ which gives the best weighting factor w_i. However, the usual indices of fit for comparing equations (R^2 and standard error of estimate) cannot be used in selecting this value. Introduction of w_i in equation (3) changes the scale of dependent variable y for different values of δ, and thus makes these indices incomparable. Our solution was to use the indices of fit derived by Furnival (1961) in selecting the value of the exponent δ. For the components of the species studied, ($\delta = 4$) generally gives the best results, and this is the value we selected.

RESULTS

Tables 2, 3, 4, 5, 6, and 7 give the regression coefficients for the green and ovendry masses of the following components of the 12 species studied: total above-ground tree, stem (conifers), merchantable stem, merchantable stem wood, merchantable stem bark, and crown. The indices of fit

shown are the coefficient of regression R^2 and the standard error of estimates (s).

For deciduous species, no values are given for the stem: the equivalent component is the merchantable stem, which includes branches to a diameter of 9.1 cm. This breakdown was used in order to comply with the new standards of the Quebec Department of Energy and Resources for developing volume tables. The applicable ranges - in terms of diameter at breast height, total height, and component ovendry mass - of the equations for the components of each species are shown in Appendix 3.

DISCUSSION

Analysis of the residuals has shown that model (2) is flexible and provides a good fit. The utility of this model for constructing volume and biomass tables has been clearly demonstrated. The use of the more recently developed technique employing the iterative algorithm to obtain equation coefficients, rather than the approach involving linearization by means of a logarithmic transformation, is facilitated by the large capacity of currently available data processing systems. Selection of one technique over the other remains a matter of personal choice, however, since they both have their own advantages and disadvantages.

The indices of fit R^2 and s presented in tables 2, 3, 4, 5, 6, and 7 have been converted to arithmetic units, so that they can be shown in the same scale as the observed values of y_i. It would have been possible, however, to present them in the units employed for calculating the regression coefficients, since the same weighting factor was used for the components of all twelve species.

Table 2. Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for eastern white pine and red pine*

Model: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPONENT	N	ESTIMATED COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		EASTERN WHITE PINE				
GREEN MASS						
TOTAL	56	0.12628	2.18781	0.41574	0.97	117.09
STEM	56	0.06111	1.91245	0.88899	0.97	84.38
CROWN	56	0.11106	3.13416	-1.14429	0.92	43.47
MS†	44	0.03045	2.00965	0.99745	0.94	120.62
MS WOOD	44	0.02479	2.04400	0.98985	0.94	113.11
MS BARK	44	0.00679	1.72267	1.07107	0.96	9.97
OVENDRY MASS						
TOTAL	56	0.04961	2.13306	0.52087	0.98	36.84
STEM	56	0.02290	1.83775	1.02891	0.99	21.59
CROWN	56	0.04717	3.12228	-1.10248	0.92	38.91
MS	44	0.00992	1.97550	1.13809	0.97	19.27
MS WOOD	44	0.00778	2.01493	1.12568	0.97	34.49
MS BARK	44	0.00240	1.73201	1.22192	0.95	6.24
		RED PINE				
GREEN MASS						
TOTAL	53	0.09397	2.06770	0.64473	0.99	51.16
STEM	53	0.05170	1.86210	1.00598	0.99	39.63
CROWN	53	0.08306	2.92431	-0.84640	0.96	17.60
MS	41	0.02020	1.95145	1.20552	0.99	42.81
MS WOOD	41	0.01536	1.96480	1.25743	0.99	40.35
MS BARK	41	0.01271	1.73814	0.70726	0.96	4.46
OVENDRY MASS						
TOTAL	53	0.03681	1.97268	0.81105	0.99	31.72
STEM	53	0.02006	1.75327	1.18839	0.98	28.58
CROWN	53	0.02960	2.90942	-0.72446	0.96	27.19
MS	41	0.00713	1.84715	1.41506	0.99	9.33
MS WOOD	41	0.00519	1.85014	1.48937	0.98	26.66
MS BARK	41	0.00535	1.77063	0.75013	0.98	2.02

* Applicable range for these equations is given in **Appendix 3.**

† MS: Merchantable stem.

Table 3. Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for jack pine and balsam fir*

Model: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPONENT	N	ESTIMATED COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		JACK PINE				
GREEN MASS						
TOTAL	136	0.21061	1.89078	0.51007	0.96	65.03
STEM	136	0.10017	1.71153	0.89737	0.97	45.55
CROWN	136	0.29026	2.59206	-0.99982	0.79	24.14
MS†	109	0.03164	1.84240	1.12187	0.94	58.39
MS WOOD	109	0.02773	1.85654	1.12671	0.94	54.82
MS BARK	109	0.00457	1.65097	1.08092	0.89	5.09
OVENDRY MASS						
TOTAL	136	0.07230	1.89549	0.66123	0.97	30.44
STEM	136	0.03635	1.72490	1.02504	0.98	20.40
CROWN	136	0.10569	2.69203	-0.99737	0.77	26.66
MS	109	0.01278	1.87411	1.19698	0.97	13.09
MS WOOD	109	0.01071	1.88574	1.21840	0.97	25.05
MS BARK	109	0.00289	1.70963	0.99225	0.90	2.89
		BALSAM FIR				
GREEN MASS						
TOTAL	177	0.13875	2.03058	0.48739	0.98	49.15
STEM	177	0.07973	1.83111	0.83773	0.98	36.13
CROWN	177	0.08088	2.79954	-0.80017	0.83	23.66
MS	141	0.02326	2.01475	1.03781	0.97	44.06
MS WOOD	141	0.02012	2.00542	1.04672	0.96	43.38
MS BARK	141	0.00315	2.07713	0.97712	0.91	11.29
OVENDRY MASS						
TOTAL	177	0.07332	2.04454	0.43809	0.98	18.93
STEM	177	0.04603	1.85176	0.74760	0.99	15.30
CROWN	177	0.03153	2.81337	-0.73128	0.85	18.77
MS	141	0.01117	2.02628	1.02339	0.98	11.18
MS WOOD	141	0.00971	1.98546	1.05726	0.98	16.07
MS BARK	141	0.00150	2.25514	0.82743	0.89	7.23

* Applicable range for these equations is given in Appendix 3.

† MS: Merchantable stem.

Table 4. Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for white spruce and red spruce*

Model: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \epsilon$

COMPONENT	N	ESTIMATED COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		WHITE SPRUCE				
GREEN MASS						
TOTAL	79	0.14581	1.99259	0.51146	0.96	69.12
STEM	79	0.08642	1.81268	0.82627	0.97	49.35
CROWN	79	0.07836	2.58168	-0.53605	0.84	26.77
MS †	56	0.05291	1.99869	0.76837	0.96	63.68
MS WOOD	56	0.04456	2.03513	0.74643	0.96	57.95
MS BARK	56	0.00893	1.72250	0.93042	0.90	9.67
OVENDRY MASS						
TOTAL	79	0.06163	1.93785	0.63842	0.98	25.95
STEM	79	0.03475	1.74249	0.98667	0.99	17.87
CROWN	79	0.03713	2.59633	-0.52236	0.83	24.61
MS	56	0.01617	1.89833	1.05658	0.98	14.39
MS WOOD	56	0.01377	1.92678	1.04001	0.98	22.12
MS BARK	56	0.00249	1.67523	1.18881	0.92	4.96
		RED SPRUCE				
GREEN MASS						
TOTAL	55	0.05178	1.87453	1.00680	0.97	50.39
STEM	55	0.04773	1.72253	1.12930	0.98	33.88
CROWN	55	0.00434	2.51920	0.57669	0.91	22.40
MS	50	0.02876	1.86471	1.13019	0.97	35.27
MS WOOD	50	0.02261	1.89453	1.13955	0.97	32.80
MS BARK	50	0.00805	1.63636	1.06235	0.95	4.45
OVENDRY MASS						
TOTAL	55	0.02838	1.92849	0.94547	0.98	26.16
STEM	55	0.02579	1.78654	1.07098	0.98	18.87
CROWN	55	0.00233	2.61944	0.42969	0.92	18.95
MS	50	0.01351	1.93125	1.11961	0.98	11.42
MS WOOD	50	0.01113	1.94597	1.13192	0.98	17.21
MS BARK	50	0.00276	1.81080	1.02369	0.95	2.91

* Applicable range for these equations is given in **Appendix 3.**

† MS: Merchantable stem.

Table 5. Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for tamarack and trembling aspen*

Model: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPONENT	N	ESTIMATED COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		TAMARACK				
GREEN MASS						
TOTAL	97	0.17000	1.96387	0.52099	0.97	53.29
STEM	97	0.09679	1.73727	0.88402	0.98	31.83
CROWN	97	0.12855	2.93180	-0.99784	0.79	27.93
MS†	73	0.05388	1.91804	0.86303	0.97	42.81
MS WOOD	73	0.04564	1.93288	0.87111	0.97	40.59
MS BARK	73	0.00993	1.77658	0.77384	0.97	3.59
OVENDRY MASS						
TOTAL	97	0.06312	1.86882	0.74271	0.98	21.18
STEM	97	0.03711	1.64695	1.09841	0.99	12.97
CROWN	97	0.04924	2.97037	-0.97146	0.80	19.82
MS	73	0.01956	1.88931	1.03245	0.98	13.30
MS WOOD	73	0.01685	1.89586	1.04688	0.98	19.21
MS BARK	73	0.00329	1.82341	0.86114	0.96	2.10
		TREMBLING ASPEN				
GREEN MASS						
TOTAL	133	0.11757	2.07673	0.52448	0.98	81.87
MS	116	0.02121	2.13580	0.95519	0.97	72.01
CROWN	116	2.34772	1.33258	-0.27653	0.57	44.90
MS WOOD	116	0.01290	2.09201	1.10469	0.97	62.62
MS BARK	116	0.01619	2.35320	0.22473	0.90	23.07
OVENDRY MASS						
TOTAL	133	0.04215	2.05491	0.68081	0.96	53.59
MS	116	0.01040	2.13638	0.99054	0.96	46.24
CROWN	116	1.22132	1.31765	-0.26899	0.55	24.12
MS WOOD	116	0.00615	2.09699	1.13998	0.97	36.61
MS BARK	116	0.00829	2.32321	0.30128	0.88	14.96

* Applicable range for these equations is given in **Appendix 3.**

† MS: Merchantable stem; for deciduous species this includes branches to a diameter of 9.1 cm. Component descriptions are given in **Appendix 2.**

Table 6. Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for yellow birch and white birch*

Model: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPONENT	N	ESTIMATED COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		YELLOW BIRCH				
GREEN MASS						
TOTAL	130	0.10713	2.13667	0.57921	0.96	118.05
MS†	111	0.01131	2.28382	1.06187	0.97	74.42
CROWN	111	1.09814	1.84094	-0.31281	0.70	85.37
MS WOOD	111	0.00965	2.26617	1.09315	0.97	66.99
MS BARK	111	0.00171	2.42223	0.81873	0.91	17.17
OVENDRY MASS						
TOTAL	130	0.04340	2.15785	0.67110	0.96	68.22
MS	111	0.00717	2.28785	1.02946	0.97	44.31
CROWN	111	0.37105	1.86729	-0.18824	0.70	46.35
MS WOOD	111	0.00628	2.26887	1.05159	0.97	39.92
MS BARK	111	0.00089	2.43160	0.86177	0.90	11.36
		WHITE BIRCH				
GREEN MASS						
TOTAL	101	0.15517	2.21303	0.33306	0.96	79.78
MS	86	0.02938	2.32826	0.68320	0.94	79.33
CROWN	86	0.96729	1.53454	-0.05490	0.65	56.16
MS WOOD	86	0.02386	2.31640	0.72429	0.94	70.67
MS BARK	86	0.00626	2.41981	0.38068	0.85	16.24
OVENDRY MASS						
TOTAL	101	0.05703	2.20329	0.48896	0.96	47.62
MS	86	0.01620	2.29517	0.73351	0.94	44.75
CROWN	86	0.39997	1.63876	-0.08757	0.66	30.38
MS WOOD	86	0.01333	2.27945	0.76837	0.94	39.64
MS BARK	86	0.00302	2.40292	0.50117	0.85	10.70

* Applicable range for these equations is given in **Appendix 3.**

† MS: Merchantable stem; for deciduous species this includes branches to a diameter of 9.1 cm. Component descriptions are given in **Appendix 2.**

Table 7. Equations for predicting green and ovendry mass (kg) of total above-ground tree and components for maples*

Model: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPONENT	N	ESTIMATED COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		MAPLES				
GREEN MASS						
TOTAL	134	0.10931	2.12129	0.57186	0.98	93.05
MS+	116	0.00797	2.24758	1.21265	0.97	76.32
CROWN	116	0.72903	1.73145	-0.11106	0.81	53.31
MS WOOD	116	0.00645	2.23065	1.26194	0.97	68.24
MS BARK	116	0.00183	2.37775	0.83176	0.92	15.78
OVENDRY MASS						
TOTAL	134	0.04229	2.12645	0.72526	0.98	58.25
MS	116	0.00475	2.22875	1.25640	0.97	51.04
CROWN	116	0.51772	1.78894	-0.25030	0.81	31.34
MS WOOD	116	0.00379	2.20372	1.32012	0.97	45.98
MS BARK	116	0.00124	2.42371	0.75853	0.90	11.71

* Applicable range for these equations is given in **Appendix 3.**

\+ MS: Merchantable stem; for deciduous species this includes branches to a diameter of 9.1 cm. Component descriptions are given in **Appendix 2.**

CONCLUSION

The twelve species for which equations are presented in this report, when combined with black spruce, comprise more than 95% of the gross merchantable volume available in private and public forests in Quebec. The establishment of these equations is a first step toward being able to estimate the quantities of biomass available - in terms of total trees or by component - per hectare. The second step consists of applying these equations to conventional inventory data.

ACKNOWLEDGEMENTS

The firm Blais, McNeil, Lussier et Associés collected data for nine species. I would like to thank Mr. J.B. Breton for his assistance at the time the samples were taken and for processing the samples, and Mr. Alain St-Germain for his assistance in programing.

REFERENCES

Alemdag, I.S. 1981. Équations de masse pour la portion épigée de six essences de feuillus dans les peuplements naturels de la forêt expérimentale de Petawawa. Serv. Can. For., Inst. for. nat. Petawawa, Rapp. Inf. PI-X-6(F). 10 p.

Alemdag, I.S. 1982. Above-ground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees at two localities in Ontario. For. Chron. 58:26-30.

Barney, G.O.; Freeman, P.H.; Ulinski, C.A. [1981]. Global 2000: Implications for Canada. Pergamon Press. 171 p.

Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. J. For. Res. 2:49-53.

Draper, N.R.; Smith, H. 1981. Applied regression analysis. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y. 709 p.

Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7:337-341.

Jennrich. R. 1977. Nonlinear regression and maximum likelihood estimation. Pages 289-344 *in* W.J. Dixon, ed. BMDP statistical software. Univ. California Press, Berkeley, Calif.

Ker, M.F. 1973. Dry matter production in a young balsam fir stand in Western Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre., Inf. Rep. N-X-103, 31 p.

Ker, M.F.; van Raalte, G.D. 1981. Tree biomass equations for *Abies balsamea* and *Picea glauca* in Northwestern New Brunswick. Can. J. For. Res. 11:13-17.

Lavigne, M.B.; van Nostrand, R.S. 1981. Biomass equations for six tree

species in Central Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre., Inf. Rep. N-X-199, 51 p.

Ouellet, D. 1983. Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec. Serv. Can. For., Centre de Rech. For. des Laurentides., Rapp. Inf. LAU-X-60, 27 p.

Singh, T. 1982. Biomass equations for ten major tree species of the prairies provinces. Can. For. Serv., Northern For. Res. Centre., Inf. Rep. NOR-X-242, 35 p.

Young, H.E.; Strand, L.; Altenberger, R. 1964. Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine. Maine Agric. Exp. Sta., Orono, Maine. Tech. Bull. 12, 76 p.

APPENDIX 1

Sampling procedure

1. STAND SELECTION

The most representative management unit, or group of units, for each species is identified.

1.1 Insofar as possible, three diameter-height grids are completed in each unit or group of units for each deciduous species: one for pure stands, one for mixed stands with coniferous species predominant, and one for mixed stands with deciduous species predominant. For coniferous species, a single grid is completed for each unit or group of units (Tables 1.1 and 1.2).

1.2 Any tree of a given species, with the exception of black spruce, encountered while sampling for another species (i.e.: outside the management units selected for the former species) is also sampled, providing it is the first tree of that species encountered in the plot. Any tree thus selected is subtracted from the requirement in the appropriate D and H class on the grid for that species.

2. SAMPLE TREE SELECTION

2.1 In each stand, a random point is selected at least 100 m from roads, clearings, lakes, etc.

2.2 A circular 0.04 ha sample plot is established and the diameters at breast height of the species present are recorded. Each plot is identified on a 1:50 000 scale map and on the ground so that it can be easily relocated. Plot characteristics are noted (stand type, crown closure, etc.).

2.3 If all the trees needed to complete the diameter-height grid cannot be found in the first plot, a second plot is established at least 100 m from the first. A complete inventory of the number of stems present is taken if at least five stems are sampled in the plot.

2.4 Insofar as possible, plots with different characteristics (altitude, position on slope, etc.) are selected to broaden the sampling.

3. SAMPLE TREE PROCEDURE

3.1 Live trees of commercial size*

* By commercial size, we mean diameter at breast height greater than or equal to 9.1 cm for coniferous species and diameter greater than or equal to 15.1 cm measured 2.5 m above the position of the cut for deciduous species.

3.1.1 Clean area where tree is to fall of all brush and debris.

3.1.2 For trees with D > 9.1 cm, leave 15 cm stump.
For trees with D < 9.1 cm, make cut as close as possible to ground level.

3.1.3 Measure: a) - total height of tree, to nearest cm;
- merchantable height, to nearest cm (9.1 cm at top diameter for conifers; 15.1 cm at top diameter or first fork or primary branch for deciduous species);
- height at 2/3 merchantable height (mark position on stem), to nearest cm;
- height at 1/3 merchantable height (mark position on stem), to nearest cm;
- height above ground of first live-branch verticil, to nearest cm.

b) - diameter at breast height outside dark (ob), to nearest mm;
- diameter (ob) at 0.8 m above-ground, to nearest mm;
- diameter (ob) of stump at position of cut, to nearest mm;
- diameter (ob) 5 cm below first live-branch verticil, to nearest mm;

- diameter (ob) at 1/3 and 2/3 merchantable height, to nearest mm;
- diameter (ob) at merchantable height (deciduous species), to nearest mm;
- crown diameter, to nearest 0.5 m.

3.1.4 Separate and select the following components:

a) Coniferous species

1) Cut off branches leaving terminal shoot.
2) Subdivide branches into three groups: portions of live branches with diameters less than 3.1 cm, portions of live branches with diameters greater than or equal to 3.1 cm, dead branches.
3) Weigh and record green mass of each group.
4) Random select two branches from each group, or a minimum of four branches if all groups are not represented. Place samples from each group in a plastic bag and label the bag.

b) Deciduous species

1) Subdivide live branches into three groups: portions of branches with diameters greater than or equal to 9.1 cm, portions of branches with diameters between 9.1 and 3.1 cm, and portions of branches with diameters less than 3.1 cm including foliage and fruit. Place dead branches in a fourth group.
2) Weigh and record green mass of each group.
3) Random select four branches, with foliage, from the under 3.1 cm group.
4) Cut (at random) three sample discs from each of the other live-branch groups and dead-branch group.
5) Place the samples from each group in a plastic bag and label the bag.

3.1.5 On the main stem:

1) Divide the merchantable stem into three parts of equal length and identify the three parts.

2) Individually weigh and record the mass of each part.
3) Take one 3 to 4 cm-thick sample disc at each of:
   a) the stump (base of lower 1/3 of merchantable stem);
   b) breast height;
   c) the bases of parts 2 and 3 (1/3 and 2/3 merchantable height);
   d) merchantable height and mid-point of unmerchantable stem (coniferous species), or merchantable height only (deciduous species).
4) Immediately identify each disc in the field and place the wood and bark of the disc in a hermetically sealed bag.

3.1.6 Weigh all samples to the nearest 0.1 g as soon as possible after they are taken (maximum 24 hours). For sample discs, green mass is measured with and without bark.

3.2 Trees of non-commercial size

3.2.1 Measure:
- total height, to nearest cm;
- height to first live-branch verticil, to nearest cm;
- diameter at breast height, to nearest mm;
- diameter at mid-height, to nearest mm;
- diameter at ground level, to nearest mm;
- crown diameter, to nearest 0.5 m.

3.2.2 Measure green mass of stem and branches separately. Divide branches into three groups: less than 3.1 cm, greater than or equal to 3.1 cm (if applicable), and dead branches.

3.2.3 Take one 3 to 4 cm-thick sample disc at each of the stump, breast height, and mid-height.

3.2.4 Random select a sample of two branches from each group. Place each sample in a plastic bag and label the bag.

3.3 Notes concerning balsam fir

Estimate the degree of overall defoliation for each tree sampled, using the following three categories:

0-49%

50-89%

90-100%

The estimate is to be made before the tree is cut by examining each third of the crown and averaging. The top third is always more heavily defoliated, while the middle third is generally fairly representative of the crown as a whole.

3.4 For all other species, crown defoliation should not be extensive.

Table 1.1 Diameter-height grid for deciduous species

D (cm) \ H (cm)	1.3-5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1 +
1.0-8.9	1	1				
9.0-14.9		1	1			
15.0-20.9			1	1		
21.0-26.9				1	1	
27.0-32.9				1	1	
33.0-38.9				1	1	1
39.0 +					2	

Table 1.2 Diameter-height grid for coniferous species

D (cm) \ H (cm)	1.3-5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1 +
1.0-8.9	3	3	3			
9.0-14.9		3	3			
15.0-20.9			3	3		
21.0-26.9			3	3	3	
27.0-32.9				3	3	
33.0 +					9	

N.B. These grids are to be used only as guides and are not applicable for all species. However, the number of stems per diameter class is to be respected wherever possible.

APPENDIX 2

Description of components

Description of components

Total mass: (coniferous and deciduous species)

for D ≥ 9.1 cm - mass (kg) of tree above stump

for D < 9.1 cm - mass (kg) of tree above ground level

Stem mass: (with bark, in kg)

coniferous: to end of terminal shoot

Merchantable stem mass: (with bark, in kg)

coniferous:* to 9.1 cm at top diameter

deciduous:** to 9.1 cm diameter in branches

Crown mass: (in kg)

coniferous: all live branches, including foliage and cones

deciduous: portion of branches where diameter is greater than or equal to 3.1 cm and less than 9.1 cm and portion of branches where diameter is less than 3.1 cm, including foliage and fruit

Merchantable stem wood mass: (in kg)

coniferous: wood of merchantable stem to 9.1 cm at top diameter

deciduous: wood to 9.1 cm in branches

Merchantable stem bark mass: (in kg)

coniferous: bark of merchantable stem to 9.1 cm at top diameter

deciduous: bark to 9.1 cm in branches

Stump: 15 cm in height for both coniferous and deciduous trees with D ≥ 9.1 cm

---

* See figure 2

** See figure 3

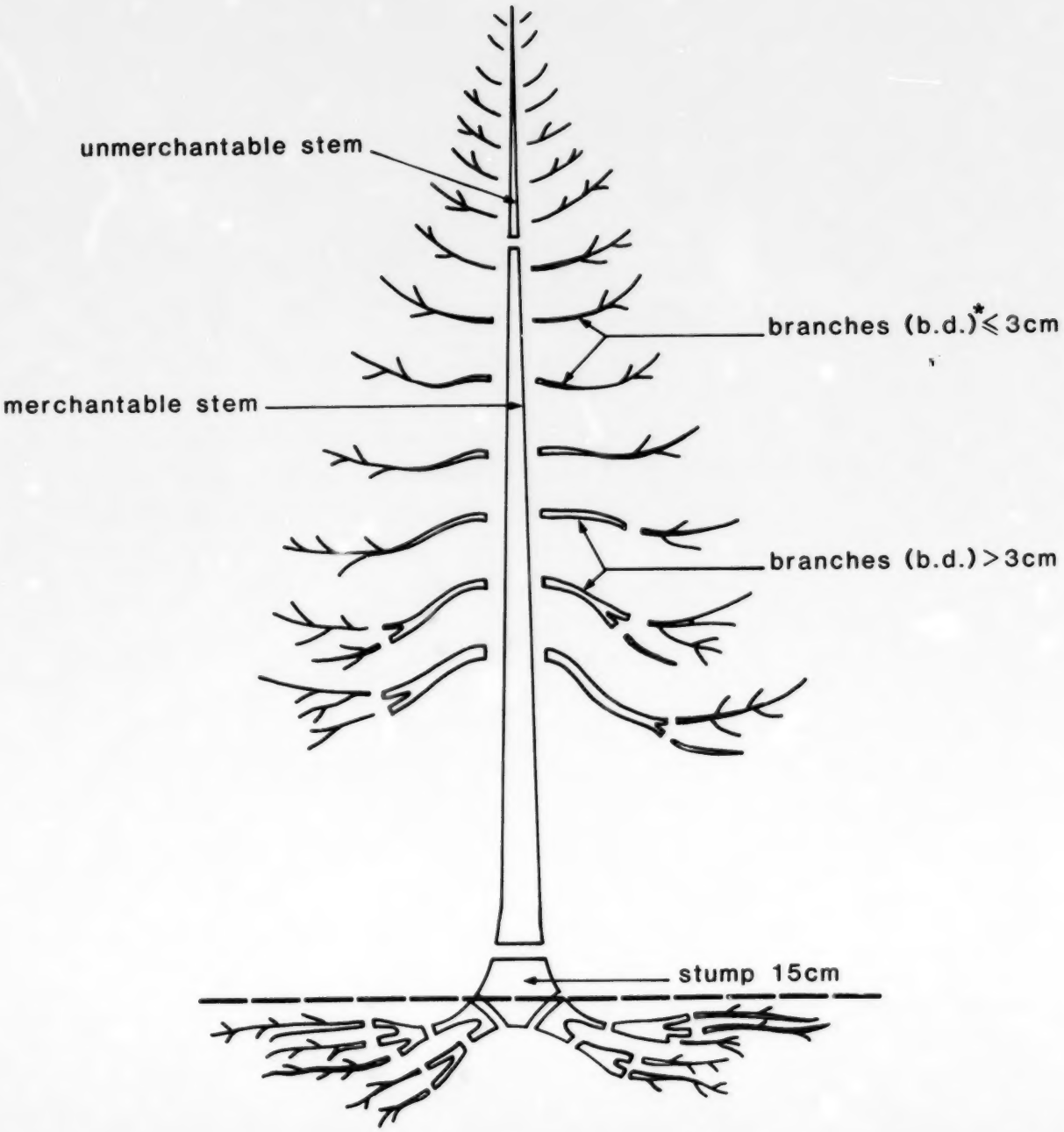


Figure 2. Description of components - coniferous species (adapted from Young *et al.* 1964)

* (b.d.) = basal diameter

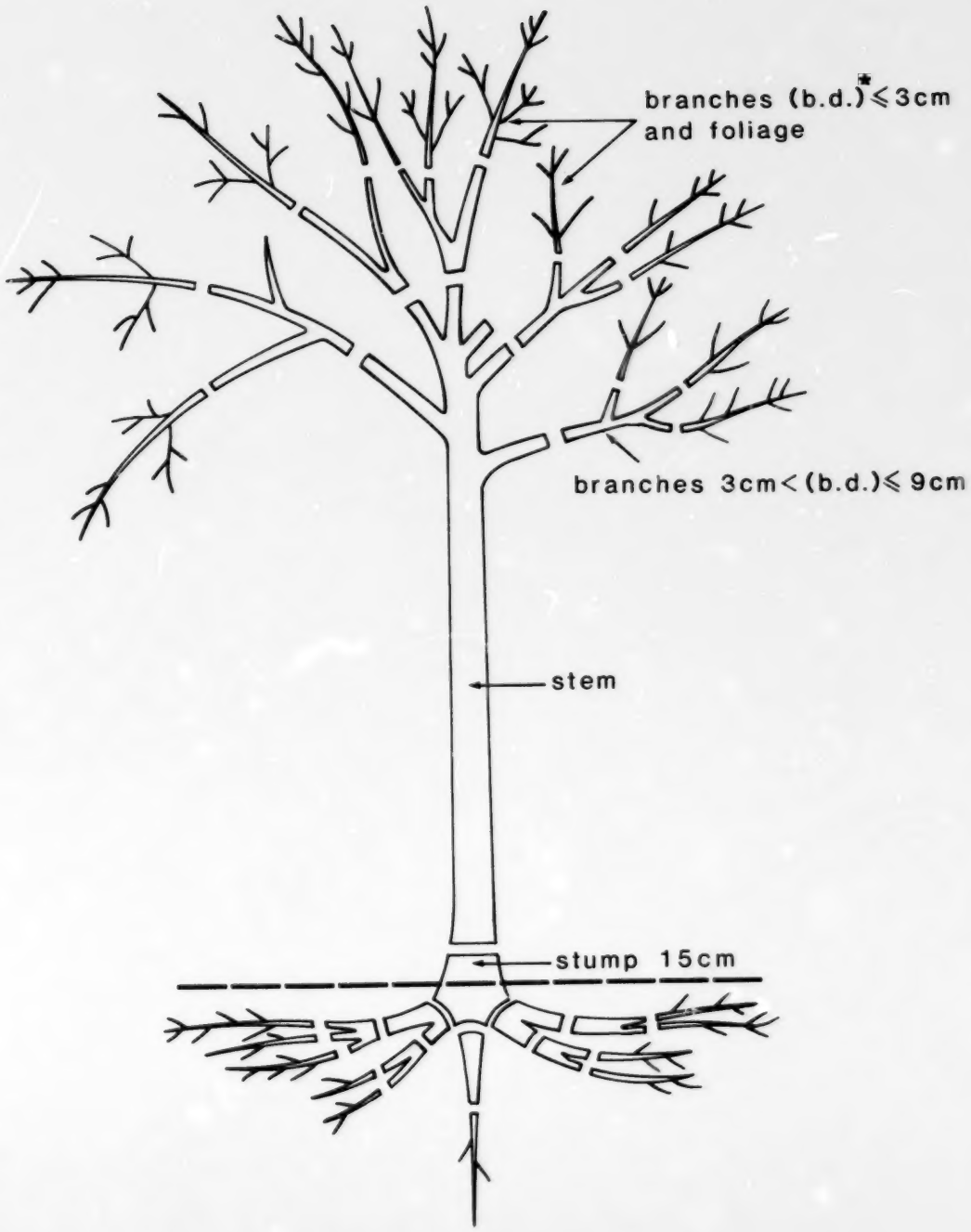


Figure 3. Description of components - deciduous species

* (d.b.) = basal diameter

APPENDIX 3

Applicable range of equations for components of each species

Appendix 3.1 Applicable range - equations for coniferous species*

COMPONENT	N	APPLICABLE RANGE D (cm)	H (m)	OVENDRY MASS (kg)
		EASTERN WHITE PINE (EWP)		
TOTAL	56	1.5 - 54.2	2.3 - 28.6	0.3 - 1253.7
STEM	56	1.5 - 54.2	2.3 - 28.6	0.2 - 1014.6
CROWN	56	1.5 - 54.2	2.3 - 28.6	0.1 - 294.5
MS†	44	9.1 - 54.2	8.3 - 28.6	6.0 - 1011.8
MS WOOD	44	9.1 - 54.2	8.3 - 28.6	4.6 - 886.7
MS BARK	44	9.1 - 54.2	8.3 - 28.6	0.9 - 125.1
		RED PINE (RP)		
TOTAL	53	1.3 - 42.4	1.8 - 26.6	0.3 - 913.1
STEM	53	1.3 - 42.4	1.8 - 26.6	0.2 - 761.7
CROWN	53	1.3 - 42.4	1.8 - 26.6	0.1 - 158.2
MS	41	9.1 - 42.4	7.6 - 26.6	6.5 - 759.4
MS WOOD	41	9.1 - 42.4	7.6 - 26.6	5.3 - 713.6
MS BARK	41	9.1 - 42.4	7.6 - 26.6	1.2 - 45.8
		JACK PINE (JP)		
TOTAL	136	1.7 - 41.0	2.8 - 27.0	0.7 - 770.0
STEM	136	1.7 - 41.0	2.8 - 27.0	0.4 - 644.5
CROWN	136	1.7 - 41.0	2.8 - 27.0	0.2 - 126.2
MS	109	9.1 - 41.0	8.4 - 27.0	8.0 - 641.5
MS WOOD	109	9.1 - 41.0	8.4 - 27.0	7.2 - 599.7
MS BARK	109	9.1 - 41.0	8.4 - 27.0	0.8 - 41.8
		BALSAM FIR (BF)		
TOTAL	177	2.0 - 42.4	2.2 - 25.3	0.5 - 634.9
STEM	177	2.0 - 42.4	2.2 - 25.3	0.4 - 546.4
CROWN	177	2.0 - 42.4	2.2 - 25.3	0.1 - 134.0
MS	141	9.1 - 42.4	7.2 - 25.3	5.0 - 538.9
MS WOOD	141	9.1 - 42.4	7.2 - 25.3	4.3 - 433.0
MS BARK	141	9.1 - 42.4	7.2 - 25.3	0.7 - 105.9

Appendix 3.1 Continued*

COMPONENT	N	APPLICABLE RANGE D (cm)	H (m)	OVENDRY MASS (kg)
		WHITE SPRUCE (WS)		
TOTAL	79	2.8 - 43.5	3.1 - 26.3	1.5 - 662.3
STEM	79	2.8 - 43.5	3.1 - 26.3	1.1 - 547.7
CROWN	79	2.8 - 43.5	3.1 - 26.3	0.2 - 147.3
MS †	56	9.1 - 43.5	10.1 - 26.3	4.8 - 544.6
MS WOOD	56	9.1 - 43.5	10.1 - 26.3	4.2 - 485.9
MS BARK	56	9.1 - 43.5	10.1 - 26.3	0.6 - 62.7
		RED SPRUCE (RS)		
TOTAL	55	6.5 - 43.5	8.0 - 21.2	9.1 - 801.3
STEM	55	6.5 - 43.5	8.0 - 21.2	7.8 - 599.2
CROWN	55	6.5 - 43.5	8.0 - 21.2	0.8 - 202.0
MS	50	9.1 - 43.5	12.6 - 21.2	15.4 - 596.4
MS WOOD	50	9.1 - 43.5	12.6 - 21.2	14.0 - 540.1
MS BARK	50	9.1 - 43.5	12.6 - 21.2	1.4 - 56.3
		TAMARACK (TL)		
TOTAL	97	1.8 - 44.5	3.4 - 30.4	0.5 - 917.1
STEM	97	1.8 - 44.5	3.4 - 30.4	0.4 - 783.0
CROWN	97	1.8 - 44.5	3.4 - 30.4	0.1 - 134.1
MS	73	9.1 - 44.5	11.9 - 30.4	12.1 - 776.9
MS WOOD	73	9.1 - 44.5	11.9 - 30.4	10.9 - 717.4
MS BARK	73	9.1 - 44.5	11.9 - 30.4	1.2 - 59.5

* These ranges apply for green and ovendry masses

† MS: Merchantable stem

Appendix 3.2 Applicable range - equations for deciduous species*

COMPONENT	N	APPLICABLE RANGE D (cm)	H (m)	OVENDRY MASS (kg)
		TREMBLING ASPEN (TA)		
TOTAL	133	1.5 - 47.2	2.9 - 28.3	0.1 - 1038.4
MS†	116	9.1 - 47.2	11.7 - 28.3	7.7 - 920.0
CROWN	116	9.1 - 47.2	11.7 - 28.3	4.6 - 167.8
MS WOOD	116	9.1 - 47.2	11.7 - 28.3	5.9 - 751.2
MS BARK	116	9.1 - 47.2	11.7 - 28.3	1.5 - 191.1
		YELLOW BIRCH (YB)		
TOTAL	130	1.9 - 46.3	4.3 - 22.9	0.4 - 1311.7
MS	111	9.1 - 46.3	10.6 - 22.9	9.0 - 994.7
CROWN	111	9.1 - 46.3	10.6 - 22.9	15.2 - 405.5
MS WOOD	111	9.1 - 46.3	10.6 - 22.9	8.1 - 897.7
MS BARK	111	9.1 - 46.3	10.6 - 22.9	0.9 - 155.9
		WHITE BIRCH (WB)		
TOTAL	101	1.7 - 43.6	3.5 - 23.9	0.6 - 989.0
MS	86	9.1 - 43.6	12.1 - 23.9	4.2 - 758.2
CROWN	86	9.1 - 43.6	12.1 - 23.9	8.4 - 230.8
MS WOOD	86	9.1 - 43.6	12.1 - 23.9	3.7 - 615.8
MS BARK	86	9.1 - 43.6	12.1 - 23.9	0.5 - 142.4
		MAPLES (SM-RM)		
TOTAL	123	2.0 - 43.6	4.6 - 25.4	1.4 - 1475.0
MS	105	9.1 - 43.6	12.0 - 25.4	8.2 - 1183.4
CROWN	105	9.1 - 43.6	12.0 - 25.4	11.1 - 291.6
MS WOOD	105	9.1 - 43.6	12.0 - 25.4	7.2 - 1047.4
MS BARK	105	9.1 - 43.6	12.0 - 25.4	0.9 - 136.2

* These ranges apply for green and ovendy masses

† MS: Merchantable stem

Environnement Canada
Service canadien des forêts

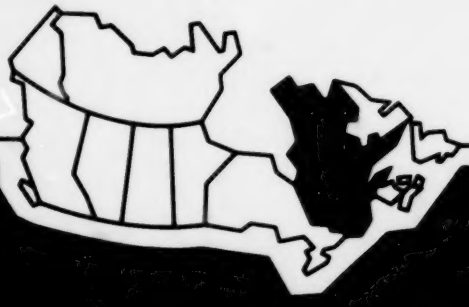
Environment Canada
Canadian Forestry Service

Équations de prédiction de la biomasse de douze essences commerciales du Québec

D. Ouellet

Rapport d'information LAU-X-62

Centre de recherches forestières des Laurentides



Environment Canada
Environnement Canada

00160246 DEST PVM EXCH COPY 03
SB 761 C328
VOL ISS 62
RAPPORT D'INFORMATION (CENTRE DE RECHERCHES FORESTIERES DES LAURENTIDES). FRANCAIS

Énergie
ENFOR
de la Forêt

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Équations de prédiction de la biomasse de douze essences commerciales du Québec

Projet ENFOR P-236

D. Ouellet

Rapport d'information LAU-X-62
1983

Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:

Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada
1080, route du Vallon
C.P. 3800
Saint-Foy (Québec) G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/62F
ISSN 0703-2196
ISBN 0662-92380-4

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

Also available in English under the title
"Biomass prediction equations for twelve commercial species in Quebec"

AVANT-PROPOS

ENFOR est l'acronyme bilingue du programme de recherche et de développement en matière d'ÉNergie FORestière (ENergy from the FORest) du Service canadien des Forêts, qui vise à s'assurer les connaissances et la compétence technique nécessaires afin de favoriser une forte augmentation de la contribution, à moyen et à long terme, de la biomasse forestière à la production d'énergie primaire de notre pays. Ce programme s'inscrit dans le cadre d'une entreprise beaucoup plus vaste du gouvernement visant à promouvoir le développement et l'utilisation de l'énergie renouvelable dans le but de réduire notre dépendance à l'égard du pétrole et des autres sources énergétiques non-renouvelables.

Les projets d'ENFOR sont sélectionnés parmi une série de propositions présentées par des organisations de recherches privées et publiques, selon le bien-fondé scientifique et technique de chacune et à la lumière des objectifs et des priorités du programme. Quelle que soit l'origine de la proposition, les projets sont surtout réalisés par contrat. Des informations additionnelles sur le programme ENFOR peuvent être obtenues en s'adressant au:

Secrétariat ENFOR
Service canadien des Forêts
Ministère de l'Environnement
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

...ou au directeur de l'établissement d'où provient le présent rapport.

Ce rapport, qui découle du projet ENFOR P-236, a été préparé par le Service canadien des Forêts. Les données de biomasse de neuf essences sont le résultat d'un contrat confié à la firme Blais, McNeil, Lussier et Associés (dossier MAS 11SD.KH303-2-C-013).

Des équations de prédiction de la biomasse de l'épinette noire ont déjà fait l'objet d'une publication (Ouellet 1983).

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	i
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
MÉTHODOLOGIE	2
RÉSULTATS	6
DISCUSSION	13
CONCLUSION	13
REMERCIEMENTS	14
RÉFÉRENCES	14
ANNEXE 1. Procédure d'échantillonnage	17
ANNEXE 2. Description des composantes	25
ANNEXE 3. Limites d'application des équations des composantes de chaque essence	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1	Répartition du nombre d'arbres par essence et par unité de gestion	3
2	Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du pin blanc et du pin rouge	7
3	Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du pin gris et du sapin baumier	8
4	Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes de l'épinette blanche et de l'épinette rouge	9
5	Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du mélèze laricin et du peuplier faux-Tremble	10
6	Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du bouleau jaune et du bouleau à papier	11
7	Equations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes des érables	12

LISTE DES FIGURES

Figure		
1	Répartition des unités de gestion de la forêt publique au Québec	2
2	Description des composantes pour les essences résineuses	28
3	Description des composantes pour les essences feuillues	29

RÉSUMÉ

Des équations de prédiction de la biomasse forestière de douze essences échantillonnées à travers le Québec ont été construites. Ces essences sont pour les résineux: le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le pin rouge (*Pinus resinona* Ait.), le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), et le mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) Koch.). Pour les essences feuillues, ce sont: le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.), le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.) l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et l'érable rouge (*Acer rubrum* L.). Ces équations ont pour but de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre total (partie située au-dessus du niveau du sol), de la tige, de la partie marchande de la tige, de son bois et de son écorce, ainsi que de la cime. Les équations utilisent le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'arbre comme variables explicatives.

ABSTRACT

Biomass prediction equations were constructed for twelve commercial species from sampling conducted throughout Quebec. The coniferous species studied include eastern white pine (*Pinus strobus* L.), red pine (*Pinus resinosa* Ait.), jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.), white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), red spruce (*Picea rubens* Sarg.), and tamarack (*Larix laricina* (Du Roi) Koch.). The deciduous species are trembling aspen (*Populus tremuloides* Michx.), yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britt.), white birch (*Betula papyrifera* Marsh.), suger maple (*Acer saccharum* Marsh.), and red maple (*Acer rubrum* L.). The equations are designed to predict the green and ovendry masses of the total above-ground tree, the stem, the merchantable stem, the wood and the bark of the merchantable stem, and the crown. The equations use the diameter at breast height and the total height as predictors.

INTRODUCTION

Le Canada doit compter actuellement sur un apport étranger important d'énergie conventionnelle afin de combler ses besoins. Tous s'accordent à dire que cet approvisionnement étranger rend le Canada vulnérable, le prix et la disponibilité du pétrole étant fonction des marchés mondiaux et de la situation politique internationale. Parmi les solutions de rechange envisagées, les ressources renouvelables présentent un intérêt particulier. De plus, le Canada devrait dans les prochaines décennies s'attendre à des pressions sans cesse grandissantes de la part du reste du monde, afin de rendre disponible ses ressources naturelles (Barney *et al.* [1981]).

Les travaux de recherche sur la biomasse forestière s'inscrivent dans ce cadre. L'objectif de ce travail est la production d'équations pour prédire la biomasse des principales essences forestières commerciales du Québec. Ces équations sont conçues pour être appliquées aux données d'inventaire volumétrique, où les paramètres généralement mesurés sont le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale.

Les équations de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) ont déjà fait l'objet d'une publication (Ouellet 1983). Pour la présente étude sept essences résineuses ont été échantillonnées à travers le Québec soient: le pin blanc (*Pinus strobus* L.), le pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.), le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), le mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) Koch.). Pour les essences feuillues, ce sont: le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.), le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.), l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et l'érable rouge (*Acer rubrum* L.). Des équations de prédiction sont établies pour les masses vertes et anhydres de l'arbre et de ses principales composantes.

MÉTHODOLOGIE

L'échantillonnage de douze essences a été effectué à travers le Québec. Trois essences ont été échantillonnées par une équipe du Centre des recherches forestières des Laurentides, soit: le pin blanc, le pin rouge et le mélèze laricin. Les neuf autres essences ont été échantillonnées grâce à un contrat exécuté par une firme privée. Le tableau 1 et la figure 1 présentent la répartition du nombre d'arbres échantillonnés par essence et par unité de gestion. Pour ce travail, les arbres-échantillons de l'érable à sucre et de l'érable rouge ont été regroupés, le nombre d'arbres-échantillons d'érable rouge étant trop faible pour obtenir des équations valables. L'examen graphique des données de ces deux essences a servi à vérifier leur compatibilité. Une description de la procédure d'échantillonnage est donnée à l'annexe 1, et l'étendue des valeurs des diamètres à hauteur de poitrine et des hauteurs totales échantillonnées par essence est présentée à l'annexe 3.

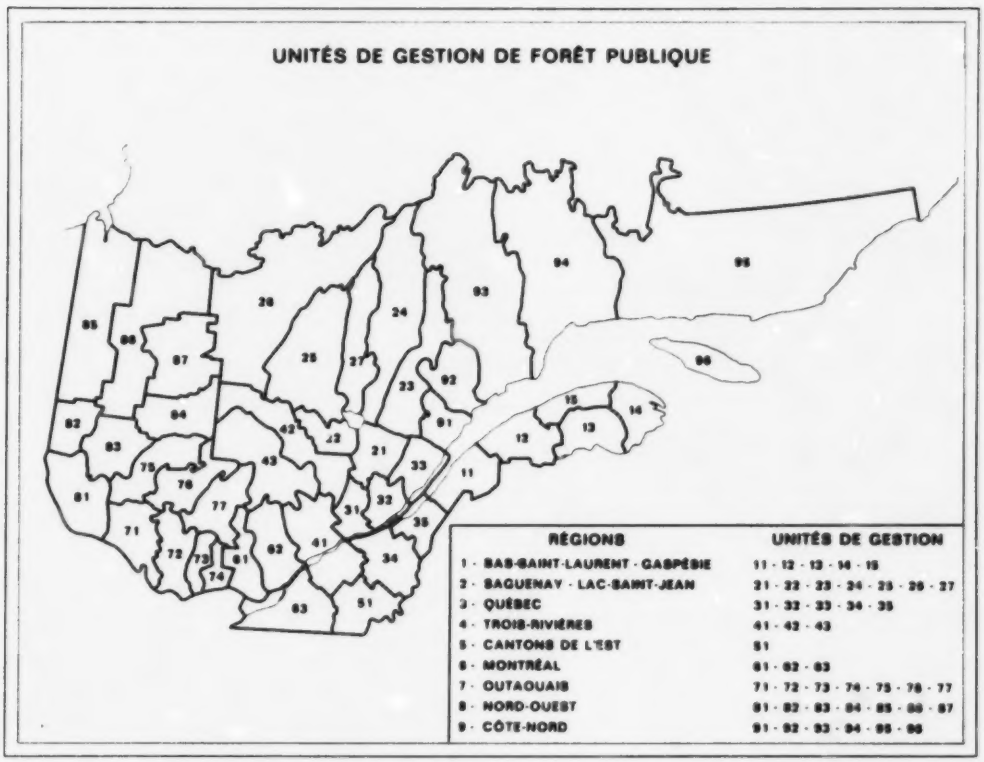


Figure 1. Répartition des unités de gestion de forêt publique au Québec.

Tableau 1. Répartition du nombre d'arbres par essence et par unité de gestion

- EPB:*	12	13	15	23	31	32	41	81		
(79)	(1)	(29)	(15)	(16)	(1)	(15)	(1)	(1)		
- EPR:	31	35	81							
(55)	(3)	(51)	(1)							
- MEL:	12	13	31	71						
(97)	(29)	(13)	(42)	(13)						
- PIB:	71	72								
(56)	(23)	(33)								
- PIG:	25	41	43	71	85	87				
(136)	(45)	(15)	(30)	(1)	(12)	(33)				
- PIR:	71	72								
(53)	(21)	(32)								
- SAB:	13	15	23	31	32	35	83	86	91	93
(177)	(15)	(14)	(25)	(27)	(12)	(38)	(2)	(1)	(33)	(10)
- BOJ:	31	34	41	51	62	71	77	81		
(130)	(17)	(15)	(25)	(29)	(2)	(15)	(5)	(22)		
- BOP:	13	15	25	31	34	35	42	43	51	62	81	83
(101)	(2)	(1)	(5)	(1)	(5)	(5)	(14)	(10)	(1)	(7)	(1)	(49)
- ERSP:	34	51	62	72	77							
(134)	(15)	(30)	(45)	(14)	(30)							
- PET:	25	27	43	81	86	87						
(133)	(30)	(15)	(9)	(35)	(30)	(14)						

* La premiere valeur correspond au numéro de l'unité de gestion et celle entre parenthèse immédiatement en dessous correspond au nombre d'arbres échantionnés dans cette unité. La signification des symboles utilisés pour chaque essence est donnée à l'annexe 3.

Les composantes utilisées pour l'étude sont:

1. l'arbre total, au-dessus du niveau du sol (résineux; feuillus)
2. la tige (résineux)
3. la partie marchande de la tige (résineux; feuillus)
4. le bois de la partie marchande de la tige (résineux; feuillus)
5. l'écorce de la partie marchande de la tige (résineux; feuillus)
6. la cime, comprenant les branches vivantes, le feuillage et les fruits (résineux; feuillus)

Une définition des composantes est fournie à l'annexe 2.

Les modèles testés pour la production des équations appartiennent à deux groupes: les modèles linéaires et les modèles non-linéaires. Les modèles linéaires ont la forme générale suivante:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_p x_p + \varepsilon \qquad (1)$$

où y est la masse d'une composante, x_i (i = 1,...,p) est une combinaison du diamètre à hauteur de poitrine (D) et/ou de la hauteur totale (H), β_i est le paramètre affectant la variable x_i et ε est l'erreur. Ces modèles sont fréquemment utilisés en biomasse (Alemdag 1981, 1982; Ker 1973, Ker and van Raalte 1981; Lavigne and van Nostrand 1981; Singh 1982). Le modèle non-linéaire utilisé est de la forme :

$$y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon \qquad (2)$$

Seuls les modèles utilisant D et H, comme variables explicatives, ont été considérés dans cette étude. Les coefficients de détermination (R^2) obtenus par les modèles linéaires sont équivalents ou légèrement inférieurs à ceux du modèle non-linéaire, dépendant des variables explicatives impliquées dans le modèle linéaire. Ce critère d'ajustement n'est pas suffisant pour le choix du modèle, et l'analyse des résidus a été utilisée pour juger du choix de l'ajustement des modèles aux données. L'analyse des résidus a porté sur

les composantes anhydres de l'arbre total, de la tige et de la cime. Pour l'ensemble des composantes des essences étudiées, le modèle (2) non-linéaire a présenté un meilleur ajustement. En plus de sa souplesse, ce modèle présente l'avantage d'être de forme constante pour toutes les composantes des essences échantillonnées, contrairement aux modèles linéaires où le meilleur ajustement est généralement donné par des modèles qui diffèrent entre les essences. Ce modèle est très utilisé pour prédire la biomasse des arbres et tous ceux qui l'emploient s'accordent pour dire que ce modèle donne des résultats équivalents ou supérieurs aux modèles linéaires.

Les coefficients du modèle (2) sont estimés par la méthode des moindres carrés avec itération (Jennrich 1981) pour toutes les essences. Cette technique de minimisation de la somme des carrés des erreurs a l'inconvénient de ne pas toujours fournir une solution unique (Draper et Smith 1981). Cependant pour toutes les composantes des essences étudiées, la convergence vers un minimum s'est effectuée rapidement et les coefficients de régression se sont avérés stables. Certains auteurs préfèrent linéariser le modèle par une transformation logarithmique, plutôt que d'utiliser un algorithme itératif. Toutefois cette linéarisation par les logarithmes introduit un biais dans la distribution des valeurs prédites de la variable y lors du retour à l'échelle arithmétique et nécessite un correctif (Baskerville 1972). Les deux méthodes comportent donc des avantages et des inconvénients. Un autre inconvénient à l'emploi de l'algorithme itératif est la difficulté de faire de l'inférence statistique, en particulier de calculer des intervalles de confiance pour les valeurs prédites $\hat{y}$. La procédure pour l'établissement de ces intervalles n'est pas standard, mais propre au modèle lui-même.

L'hétéroscédasticité des erreurs est présente en biomasse tout comme pour le cubage des arbres. Lorsque l'hypothèse de l'égalité des variances n'est plus satisfaite, les coefficients de régression évalués par la méthode des moindres carrés sont toujours non-biaisés, mais ne sont plus à variance minimale. Les inférences statistiques, en particulier les intervalles de confiance des valeurs prédites $\hat{y}$, deviennent moins précis.

Pour remédier à cette situation, la méthode des moindres carrés pondérés a été utilisée:

$$\Sigma\, w_i\, (y_i - \hat{y}_i)^2 \qquad (3)$$

où

$$w_i = \frac{k^2}{\sigma_i^2} \qquad (4)$$

k^2 étant une constante et σ^2 la variance des erreurs.

Le facteur de pondération w_i est donc inversement proportionnel, à la variance σ^2. L'examen graphique des résidus $(y_i - \hat{y}_i)$ montre que les résidus sont liés positivement au diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre, ce qui concorde avec la littérature sur la biomasse et le cubage des arbres. L'hypothèse suivante a été posée:

$$\sigma_i^2 = k^2\, D_i^{\delta} \qquad (5)$$

donc

$$w_i = \frac{1}{D_i^{\delta}} \qquad (6)$$

Il suffit de déterminer l'exposant δ qui donne le meilleur facteur de pondération w_i. Les critères d'ajustement généralement utilisés pour comparer les équations (R^2 et erreur-type de l'estimé) sont cependant rendus inutilisables par l'introduction de w_i dans l'équation (3). L'échelle de la variable dépendante y change pour les différentes valeurs de δ et rend incomparables les critères d'ajustement. L'indice de Furnival (1961) a été utilisé pour le choix de l'exposant δ. Pour l'ensemble des composantes des essences étudiées, ($\delta = 4$) donne généralement les meilleurs résultats et a été retenu.

RÉSULTATS

Les tableaux 2, 3, 4, 5, 6 et 7 présentent les coefficients de régression de douze essences pour les masses vertes et anhydres de l'arbre total, la tige (résineux), la partie marchande de la tige, le bois et

Tableau 2. Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du pin blanc et du pin rouge*

Modèle: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPOSANTES	N	ESTIMÉS DES COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		PIN BLANC				
MASSE VERTE						
TOTALE	56	0,12628	2,18781	0,41574	0,97	117,09
TIGE	56	0,06111	1,91245	0,88899	0,97	84,38
CIME	56	0,11106	3,13416	-1,14429	0,92	43,47
P.M.T. †	44	0,03045	2,00965	0,99745	0,94	120,62
BOIS P.M.T.	44	0,02479	2,04400	0,98985	0,94	113,11
ÉCORCE P.M.T.	44	0,00679	1,72267	1,07107	0,96	9,97
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	56	0,04961	2,13306	0,52087	0,98	36,84
TIGE	56	0,02290	1,83775	1,02891	0,99	21,59
CIME	56	0,04717	3,12228	-1,10248	0,92	38,91
P.M.T.	44	0,00992	1,97550	1,13809	0,97	19,27
BOIS P.M.T.	44	0,00778	2,01493	1,12568	0,97	34,49
ÉCORCE P.M.T.	44	0,00240	1,73201	1,22192	0,95	6,24
		PIN ROUGE				
MASSE VERTE						
TOTALE	53	0,09397	2,06770	0,64473	0,99	51,16
TIGE	53	0,05170	1,86210	1,00598	0,99	39,63
CIME	53	0,08306	2,92431	-0,84640	0,96	17,60
P.M.T.	41	0,02020	1,95145	1,20552	0,99	42,81
BOIS P.M.T.	41	0,01536	1,96480	1,25743	0,99	40,35
ÉCORCE P.M.T.	41	0,01271	1,73814	0,70726	0,96	4,46
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	53	0,03681	1,97268	0,81105	0,99	31,72
TIGE	53	0,02006	1,75327	1,18839	0,98	28,58
CIME	53	0,02960	2,90942	-0,72446	0,96	27,19
P.M.T.	41	0,00713	1,84715	1,41506	0,99	9,33
BOIS P.M.T.	41	0,00519	1,85014	1,48937	0,98	26,66
ÉCORCE P.M.T.	41	0,00535	1,77063	0,75013	0,98	2,02

* Le domaine d'applicabilité de ces équations est présenté à l'annexe 3.

† P.M.T.: Partie marchande de la tige.

Tableau 3. Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du pin gris et du sapin baumier*

Modèle: $y = \beta_1 D^{2\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPOSANTES	N	ESTIMÉS DES COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		PIN GRIS				
MASSE VERTE						
TOTALE	136	0,21061	1,89078	0,51007	0,96	65,03
TIGE	136	0,10017	1,71153	0,89737	0,97	45,55
CIME	136	0,29026	2,59206	-0,99982	0,79	24,14
P.M.T. †	109	0,03164	1,84240	1,12187	0,94	58,39
BOIS P.M.T.	109	0,02773	1,85654	1,12671	0,94	54,82
ÉCORCE P.M.T.	109	0,00457	1,65097	1,08092	0,89	5,09
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	136	0,07230	1,89549	0,66123	0,97	30,44
TIGE	136	0,03635	1,72490	1,02504	0,98	20,40
CIME	136	0,10569	2,69203	-0,99737	0,77	26,66
P.M.T.	109	0,01278	1,87411	1,19698	0,97	13,09
BOIS P.M.T.	109	0,01071	1,88574	1,21840	0,97	25,05
ÉCORCE P.M.T.	109	0,00289	1,70963	0,99225	0,90	2,89
		SAPIN BAUMIER				
MASSE VERTE						
TOTALE	177	0,13875	2,03058	0,48739	0,98	49,15
TIGE	177	0,07973	1,83111	0,83773	0,98	36,13
CIME	177	0,08088	2,79954	-0,80017	0,83	23,66
P.M.T.	141	0,02326	2,01475	1,03781	0,97	44,06
BOIS P.M.T.	141	0,02012	2,00542	1,04672	0,96	43,38
ÉCORCE P.M.T.	141	0,00315	2,07713	0,97712	0,91	11,29
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	177	0,07332	2,04454	0,43809	0,98	18,93
TIGE	177	0,04603	1,85176	0,74760	0,99	15,30
CIME	177	0,03153	2,81337	-0,73128	0,85	18,77
P.M.T.	141	0,01117	2,02628	1,02339	0,98	11,18
BOIS P.M.T.	141	0,00971	1,98546	1,05726	0,98	16,07
ÉCORCE P.M.T.	141	0,00150	2,25514	0,82743	0,89	7,23

* Le domaine d'applicabilité de ces équations est présenté à l'**annexe 3.**

† P.M.T.: Partie marchande de la tige.

Tableau 4. Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes de l'épinette blanche et de l'épinette rouge*

Modèle: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPOSANTES	N	ESTIMÉS DES COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		ÉPINETTE BLANCHE				
MASSE VERTE						
TOTALE	79	0,14581	1,99259	0,51146	0,96	69,12
TIGE	79	0,08642	1,81268	0,82627	0,97	49,35
CIME	79	0,07836	2,58168	-0,53605	0,84	26,77
P.M.T. †	56	0,05291	1,99869	0,76837	0,96	63,68
BOIS P.M.T.	56	0,04456	2,03513	0,74643	0,96	57,95
ÉCORCE P.M.T.	56	0,00893	1,72250	0,93042	0,90	9,67
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	79	0,06163	1,93785	0,63842	0,98	25,95
TIGE	79	0,03475	1,74249	0,98667	0,99	17,87
CIME	79	0,03713	2,59633	-0,52236	0,83	24,61
P.M.T.	56	0,01617	1,89833	1,05658	0,98	14,39
BOIS P.M.T.	56	0,01377	1,92678	1,04001	0,98	22,12
ÉCORCE P.M.T.	56	0,00249	1,67523	1,18881	0,92	4,96
		ÉPINETTE ROUGE				
MASSE VERTE						
TOTALE	55	0,05178	1,87453	1,00680	0,97	50,39
TIGE	55	0,04773	1,72253	1,12930	0,98	33,88
CIME	55	0,00434	2,51920	0,57669	0,91	22,40
P.M.T. †	50	0,02876	1,86471	1,13019	0,97	35,27
BOIS P.M.T.	50	0,02261	1,89453	1,13955	0,97	32,80
ÉCORCE P.M.T.	50	0,00805	1,63636	1,06235	0,95	4,45
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	55	0,02838	1,92849	0,94547	0,98	26,16
TIGE	55	0,02579	1,78654	1,07098	0,98	18,87
CIME	55	0,00233	2,61944	0,42969	0,92	18,95
P.M.T.	50	0,01351	1,93125	1,11961	0,98	11,42
BOIS P.M.T.	50	0,01113	1,94597	1,13192	0,98	17,21
ÉCORCE P.M.T.	50	0,00276	1,81080	1,02369	0,95	2,91

* Le domaine d'applicabilité de ces équations est présenté à l'**annexe 3.**

† P.M.T.: Partie marchande de la tige.

Tableau 5. Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du mélèze laricin et du peuplier faux-tremble*

Modèle: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPOSANTES	N	ESTIMÉS DES COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		MÉLÈZE LARICIN				
MASSE VERTE						
TOTALE	97	0,17000	1,96387	0,52099	0,97	53,29
TIGE	97	0,09679	1,73727	0,88402	0,98	31,83
CIME	97	0,12855	2,93180	-0,99784	0,79	27,93
P.M.T. †	73	0,05388	1,91804	0,86303	0,97	42,81
BOIS P.M.T.	73	0,04564	1,93288	0,87111	0,97	40,59
ÉCORCE P.M.T.	73	0,00993	1,77658	0,77384	0,97	3,59
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	97	0,06312	1,86882	0,74271	0,98	21,18
TIGE	97	0,03711	1,64695	1,09841	0,99	12,97
CIME	97	0,04924	2,97037	-0,97146	0,80	19,82
P.M.T.	73	0,01956	1,88931	1,03245	0,98	13,30
BOIS P.M.T.	73	0,01685	1,89586	1,04688	0,98	19,21
ÉCORCE P.M.T.	73	0,00329	1,82341	0,86114	0,96	2,10
		PEUPLIER FAUX-TREMBLE				
MASSE VERTE						
TOTALE	133	0,11757	2,07673	0,52448	0,98	81,87
P.M.T.	116	0,02121	2,13580	0,95519	0,97	72,01
CIME	116	2,34772	1,33258	-0,27653	0,57	44,90
BOIS P.M.T.	116	0,01290	2,09201	1,10469	0,97	62,62
ECORCE P.M.T.	116	0,01619	2,35320	0,22473	0,90	23,07
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	133	0,04215	2,05491	0,68081	0,96	53,59
P.M.T	116	0,01040	2,13638	0,99054	0,96	46,24
CIME	116	1,22132	1,31765	-0,26899	0,55	24,12
BOIS P.M.T.	116	0,00615	2,09699	1,13998	0,97	36,61
ÉCORCE P.M.T.	116	0,00829	2,32321	0,30128	0,88	14,96

* Le domaine d'applicabilité de ces équations est présenté à l'**annexe 3.**

† P.M.T.: Partie marchande de la tige; pour les essences feuillues, cette partie inclut les branches jusqu'à un diamètre de 9,1 cm. Une description des composantes est donnée à l'**annexe 2.**

Tableau 6. Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes du bouleau jaune et du bouleau à papier*

Modèle: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPOSANTES	N	ESTIMÉS DES COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		BOULEAU JAUNE				
MASSE VERTE						
TOTALE	130	0,10713	2,13667	0,57921	0,96	118,05
P.M.T. †	111	0,01131	2,28382	1,06187	0,97	74,42
CIME	111	1,09814	1,84094	-0,31281	0,70	85,37
BOIS P.M.T.	111	0,00965	2,26617	1,09315	0,97	66,99
ÉCORCE P.M.T.	111	0,00171	2,42223	0,81873	0,91	17,17
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	130	0,04340	2,15785	0,67110	0,96	68,22
P.M.T.	111	0,00717	2,28785	1,02946	0,97	44,31
CIME	111	0,37105	1,86729	-0,18824	0,70	46,35
BOIS P.M.T.	111	0,00628	2,26887	1,05159	0,97	39,92
ÉCORCE P.M.T.	111	0,00089	2,43160	0,86177	0,90	11,36
		BOULEAU À PAPIER				
MASSE VERTE						
TOTALE	101	0,15517	2,21303	0,33306	0,96	79,78
P.M.T.	86	0,02938	2,32826	0,68320	0,94	79,33
CIME	86	0,96729	1,53454	-0,05490	0,65	56,16
BOIS P.M.T.	86	0,02386	2,31640	0,72429	0,94	70,67
ECORCE P.M.T.	86	0,00626	2,41981	0,38068	0,85	16,24
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	101	0,05703	2,20329	0,48896	0,96	47,62
P.M.T	86	0,01620	2,29517	0,73351	0,94	44,75
CIME	86	0,39997	1,63876	-0,08757	0,66	30,38
BOIS P.M.T.	86	0,01333	2,27945	0,76837	0,94	39,64
ÉCORCE P.M.T.	86	0,00302	2,40292	0,50117	0,85	10,70

* Le domaine d'applicabilité de ces équations est présenté à l'**annexe 3.**

† P.M.T.: Partie marchande de la tige; pour les essences feuillues, cette partie inclut les branches jusqu'à un diamètre de 9.1 cm. Une description des composantes est donnée à l'**annexe 2.**

Tableau 7. Équations de prédiction des masses vertes et anhydres (kg) de l'arbre total et des composantes des érables*

Modèle: $y = \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3} + \varepsilon$

COMPOSANTES	N	ESTIMÉS DES COEFFICIENTS β_1	β_2	β_3	R^2	s
		ÉRABLES				
MASSE VERTE						
TOTALE	134	0,10931	2,12129	0,57186	0,98	93,05
P.M.T. †	116	0,00797	2,24758	1,21265	0,97	76,32
CIME	116	0,72903	1,73145	-0,11106	0,81	53,31
BOIS P.M.T.	116	0,00645	2,23065	1,26194	0,97	68,24
ÉCORCE P.M.T.	116	0,00183	2,37775	0,83176	0,92	15,78
MASSE ANHYDRE						
TOTALE	134	0,04229	2,12645	0,72526	0,98	58,25
P.M.T.	116	0,00475	2,22875	1,25640	0,97	51,04
CIME	116	0,51772	1,78894	-0,25030	0,81	31,34
BOIS P.M.T.	116	0,00379	2,20372	1,32012	0,97	45,98
ÉCORCE P.M.T.	116	0,00124	2,42371	0,75853	0,90	11,71

* Le domaine d'applicabilité de ces équations est présenté à l'annexe 3.

† P.M.T.: Partie marchande de la tige; pour les essences feuillues, cette partie inclut les branches jusqu'à un diamètre de 9,1 cm. Une description des composantes est donnée à l'annexe 2.

l'écorce de cette partie, ainsi que pour la cime. Les critères d'ajustement présentés sont le coefficient de détermination R^2 et l'erreur-type de l'estimé (s).

Aucune équation n'est présentée pour la tige dans le cas des essences feuillues, cette partie étant désignée par la partie marchande de la tige, jusqu'à un diamètre de 9.1 cm dans les branches. Cette mesure a été prise dans le but de répondre aux nouvelles normes du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, concernant le développement de tarifs de cubage. Le domaine d'applicabilité des équations des composantes de chaque essence est présenté à l'annexe 3 pour le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur totale et la masse anhydre de chaque composante.

DISCUSSION

L'analyse des résidus a montré que le modèle (2) utilisé est souple et permet un bon ajustement. L'utilité de ce modèle n'est plus à démontrer pour la construction de tarifs de cubage et de biomasse. L'emploi d'une technique plus récente, qui utilise un algorithme itératif, au lieu de la linéarisation par la transformation logarithmique afin d'obtenir les coefficients des équations, est facilité par la grande capacité de calcul des systèmes informatiques actuels. L'utilisation d'une technique plutôt que l'autre demeure un choix personnel en considération des avantages et les inconvénients propres à ces techniques.

Les critères d'ajustement R^2 et s présentés aux tableaux 2, 3, 4, 5, 6 et 7 ont été calculés à l'échelle originale, afin de les obtenir à la même échelle que les valeurs observées y_i. Ces deux critères d'ajustement auraient toutefois pu être présentés à l'échelle du calcul des coefficients des régressions puisque le facteur de pondération utilisé est le même pour les composantes des douze essences.

CONCLUSION

Avec l'épinette noire, les douzes essences échantillonnées dont les équations sont présentées dans ce rapport composent plus de 95% du volume marchand brut disponible sur terrains privés et publics au Québec. Ces équations constituent la première étape pour l'estimation des quantités de biomasse, totale ou par composante, disponibles à l'hectare. La seconde étape consiste à appliquer ces équations aux données d'inventaire conventionnel.

REMERCIEMENTS

La firme Blais, McNeil, Lussier et Associés a récolté les données de neuf essences. Je voudrais remercier M.J.B. Breton pour son assistance lors de l'échantillonnage et pour le traitement des échantillons, ainsi que M. Alain St-Germain pour son assistance à la programmation.

RÉFÉRENCES

Alemdag, I.S. 1981. Équations de masse pour la portion épigée de six essences de feuillus dans des peuplements naturels de la forêt expérimentale de Petawawa. Serv. Can. For., Inst. for. nat. Petawawa, Rapp. Inf. PI-X-6(F). 10 p.

Alemdag, I.S. 1982. Above-ground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees at two localities in Ontario. For. Chron. 58:26-30.

Barney, G.O.; Freeman, P.H.; Ulinski, C.A. [1981]. Global 2000: Implications for Canada. Pergamon Press. 171 p.

Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. J. For. Res. 2:49-53.

Draper, N.R.; Smith, H. 1981. Applied regression analysis. Second Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y. 709 p.

Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7:337-341.

Jennrich. R. 1977. Nonlinear regression and maximum likelihood estimation. Pages 289-344 *in* W.J. Dixon, ed. BMDP statistical software. Univ. California Press, Berkeley, Calif.

Ker, M.F. 1973. Dry matter production in a young balsam fir stand in Western Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre., Inf. Rep. N-X-103, 31 p.

Ker, M.F.; van Raalte, G.D. 1981. Tree biomass equations for *Abies balsamea* and *Picea glauca* in Northwestern New Brunswick. Can. J. For. Res. 11:13-17

Lavigne, M.B.; van Nostrand, R.S. 1981. Biomass equations for six tree species in Central Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre., Inf. Rep. N-X-199, 51 p.

Ouellet, D. 1983. Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec. Serv. Can. For., Centre de Rech. For. des Laurentides., Rapp. Inf. LAU-X-60, 27 p.

Singh, T. 1982. Biomass equations for ten major tree species of the prairies provinces. Can. For. Serv., Northern For. Res. Centre., Inf. Rep. NOR-X-242, 35 p.

Young, H.E.; Strand, L.; Altenberger, R. 1964. Preliminary fresh and dry weight tables for seven tree species in Maine. Maine Agric. Exp. Sta., Orono, Maine, Tech. Bull. 12, 76 p.

ANNEXE 1

Procédure d'échantillonnage

1. CHOIX DES PEUPLEMENTS

Les unités de gestion, ou groupe d'unités, les plus représentatives pour chaque essence ont été identifiées.

1.1 Trois grilles diamètre-hauteur doivent, dans la mesure du possible, être complétées dans chaque unité ou groupe d'unités pour une essence feuillue donnée; la première en peuplements purs, la deuxième en peuplements mélangés à dominance résineuse, et la dernière en peuplements mélangés à dominance feuillue. Pour les essences résineuses, une grille doit être complétée par unité ou groupe d'unités (Tableaux 1.1 et 1.2).

1.2 Tout arbre d'une essence donnée, sauf l'épinette noire, rencontré lors de l'échantillonnage d'une autre essence, (i.e. en dehors des unités de gestion prévues pour l'essence), doit être échantillonnée, mais sans dépasser une tige par essence rencontrée dans une parcelle. L'arbre ainsi sélectionné est soustrait de la grille de son essence selon ses caractéristiques de D et H.

2. CHOIX DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

2.1 Choisir un point dans le peuplement au hasard à au moins 100 m de la route, trouée, lac, etc.

2.2 Construire une parcelle-échantillon circulaire de 0,04 ha, et faire le relevé des diamètres à hauteur de poitrine des essences présentes. Chaque parcelle doit être identifiée sur une carte au 50 000^{e} et sur le terrain de façon à ce que l'on puisse y retourner facilement. Les caractéristiques de la parcelle (type de peuplement, % couverture, etc.) doivent être notées.

2.3 Établir une parcelle supplémentaire à une distance d'au moins 100 m de la précédente, si tous les arbres de la grille diamètre-hauteur ne peuvent être échantillonnés dans la même parcelle. Un relevé complet

du nombre de tiges est nécessaire si au moins 5 tiges sont échantillonnées dans la parcelle.

2.4 Choisir, dans la mesure du possible, des parcelles aux caractéristiques variées (altitude, position sur la pente, etc.), ceci afin de diversifier l'échantillonnage.

3. PROCÉDURE D'ÉCHANTILLONNAGE DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

3.1 Échantillonnage des arbres vivants de dimension commerciale*

* Par dimension commerciale, on entend 9.1 cm et plus au DHP pour les résineux, et pour les feuillus, un diamètre supérieur ou égal à 15,1 cm, à 2,5 m au-dessus du point de coupe.

3.1.1 Nettoyer la zone de chute de l'arbre de toutes broussailles ou de tous débris.

3.1.2 Considérer pour les arbres dont le D $\geq$ 9,1 cm, une souche de 15 cm. Pour les arbres de D $<$ 9,1 cm, faire l'abattage le plus près possible du sol.

3.1.3 Mesurer: a) - hauteur totale de l'arbre, au cm près;
- hauteur marchande, au cm près (9,1 cm au fin bout pour le résineux; 15.1 cm au fin bout ou la 1^{e} fourche ou branche primaire pour le feuillu);
- hauteur à 2/3 de la hauteur marchande et marquer la position sur la tige, au cm près;
- hauteur à 1/3 de la hauteur marchande et marquer la position sur la tige, au cm près;
- hauteur du 1^{e} verticile de branche vivante, à partir du sol, au cm près.

b) - diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (a.e.), au mm près;
- diamètre à 0.8 m du sol (a.e.), au mm près;
- diamètre de la souche au point de coupe (a.e.), au mm près;
- diamètre (a.e.) 5 cm sous le 1^{e} verticile vivant, au mm près;
- diamètre à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande (a.e.), au mm près;
- diamètre à hauteur marchande (a.e.) (feuillu), au mm près;
- diamètre de la cime, à 0,5 m près.

3.1.4 Séparer et sélectionner les parties suivantes:

a) <u>résineux</u>:

1) couper les branches en laissant la flèche terminale;
2) subdiviser les branches en trois groupes: partie des branches vivantes de diamètre inférieur à 3.1 cm, partie des branches vivantes dont le diamètre est supérieur ou égal à 3.1 cm, branches mortes;
3) peser et enregistrer la masse verte de chaque groupe;
4) choisir aléatoirement deux branches de chaque groupe, ou un minimum de quatre branches lorsque tous les groupes ne sont pas représentés. Placer les échantillons de chaque groupe dans un sac de plastique et l'identifier.

b) <u>feuillus</u>:

1) Subdiviser les branches vivantes en trois groupes: les grosses branches jusqu'à un diamètre minimum de 9,1 cm, la partie des branches comprise entre 9,1 et 3,1 cm, et la partie des branches dont le diamètre est inférieur à 3,1 cm incluant le feuillage, et les fruits. Les branches mortes forment le quatrième groupe;
2) peser et enregistrer la masse verte de chaque groupe;
3) choisir aléatoirement quatre branches avec des feuilles dans le groupe des moins de 3,1 cm;

4) couper (aléatoirement) trois disques dans chacun des deux autres groupes de branches vivantes et du groupe des branches mortes;
5) placer les échantillons de chaque groupe dans un sac de plastique et l'identifier.

3.1.5 Sur la tige principale:

1) subdiviser la tige marchande en trois sections égales et identifier les sections;
2) peser chaque section et enregistrer la masse séparément;
3) prélever un disque-échantillon de 3 à 4 cm d'épaisseur:
   a) à la souche (base du 1/3 marchand),
   b) à hauteur de poitrine,
   c) à la base des sections 2 et 3 (marqués au 1/3 et au 2/3 de la hauteur marchande),
   d) prélever en plus des quatre disques déjà recueillis, un disque à la hauteur marchande et un disque à la mi-longueur de la section non-marchande pour les résineux et un disque à la hauteur marchande uniquement pour les feuillus;
4) identifier chaque disque immédiatement sur le terrain et placer le disque et son écorce dans un sac de plastique hermétiquement fermé.

3.1.6 Peser tous les échantillons prélevés au 0,1 g près le plus tôt après l'échantillonnage (maximum 24 heures). La masse verte des disques est mesurée avec et sans l'écorce.

3.2 <u>Échantillonnage des arbres vivants de dimension non-commerciale</u>

Mesurer:
- hauteur totale, au cm près;
- hauteur 1^{e} verticile vivant, au cm près;
- DHP, au mm près;
- diamètre à demi-hauteur, au mm près;
- diamètre au niveau du sol, au mm près;
- diamètre de la cime, à 0,5 m près.

3.2.2 Mesurer la masse verte de la tige et des branches séparément. Séparer les branches en trois groupes (< 3,1 cm, > 3,1 cm (si applicable) et les branches mortes).

3.2.3 Prendre un disque de 3 à 4 cm d'épaisseur à la souche, au DHP et à la mi-hauteur de l'arbre.

3.2.4 Choisir aléatoirement deux branches parmi chacun des groupes et les placer séparément dans un sac de plastique. Identifier les sacs.

3.3 Notes relatives au sapin baumier

Évaluer un facteur de défoliation pour chacun des arbres échantillonnés. Cette évaluation doit porter la défoliation totale selon les classes suivantes:

0-49%
50-89%
90-100%

L'évaluation doit être effectuée avant que l'arbre soit abattu en évaluant la défoliation moyenne basée sur l'observation de chaque tiers de la cime; le tiers supérieur étant toujours plus défolié et le tiers central représentant généralement bien la défoliation moyenne de la cime.

3.4 Pour toute autre essence, la défoliation de la cime ne doit pas être sévère.

Tableau 1.1 Grille diamètre-hauteur pour les essences feuillues

D (cm) \ H (cm)	1.3-5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1 +
1.0-8.9	1	1				
9.0-14.9		1	1			
15.0-20.9			1	1		
21.0-26.9				1	1	
27.0-32.9				1	1	
33.0-38.9				1	1	1
39.0 +					2	

Tableau 1.2 Grille diamètre-hauteur pour les essences résineuses

D (cm) \ H (cm)	1.3-5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	20.1-25.0	25.1 +
1.0-8.9	3	3	3			
9.0-14.9		3	3			
15.0-20.9			3	3		
21.0-26.9			3	3	3	
27.0-32.9				3	3	
33.0 +					9	

N.B. Ces grilles sont utilisés comme guides, et ne peuvent être appliquées pour toutes les essences. Cependant le nombre de tiges par classe de diamètre doit dans la mesure du possible être respecté.

ANNEXE 2

Description des composantes

Description des composantes

Masse totale: Pour les résineux et les feuillus:

Si le D ≥ 9,1 cm: Masse de l'arbre (kg), au-dessus de la souche

Si le D < 9,1 cm: Masse de l'arbre (kg), au-dessus du niveau du sol.

Masse de la tige: (avec écorce) (kg)

Résineux: jusqu'à la flèche terminale.

Masse de la partie marchande de la tige: (avec écorce) (kg)

Résineux:* jusqu'à un diamètre de 9,1 cm au fin bout,

Feuillus:** jusqu'à un diamètre de 9,1 cm dans les branches.

Masse de la cime: (kg)

Résineux: toutes les branches vivantes, incluant le feuillage et les cônes.

Feuillus: partie des branches dont le diamètre est supérieur ou égal à 3,1 cm et inférieur à 9,1 cm, et la partie des branches dont le diamètre est inférieur à 3,1 cm, incluant le feuillage, et les fruits.

Masse du bois de la partie marchande: (kg)

Résineux: bois de la partie marchande jusqu'à 9,1 cm au fin bout,

Feuillus: bois jusqu'à 9,1 cm dans les branches.

Masse de l'écorce de la partie marchande: (kg)

Résineux: écorce de la partie marchande jusqu'à 9,1 cm au fin bout,

Feuillus: écorce jusqu'à 9,1 cm dans les branches.

Souche: 15 cm de hauteur pour les résineux et les feuillus de D ≥ 9,1 cm.

---

* Voir figure 2

** Voir figure 3

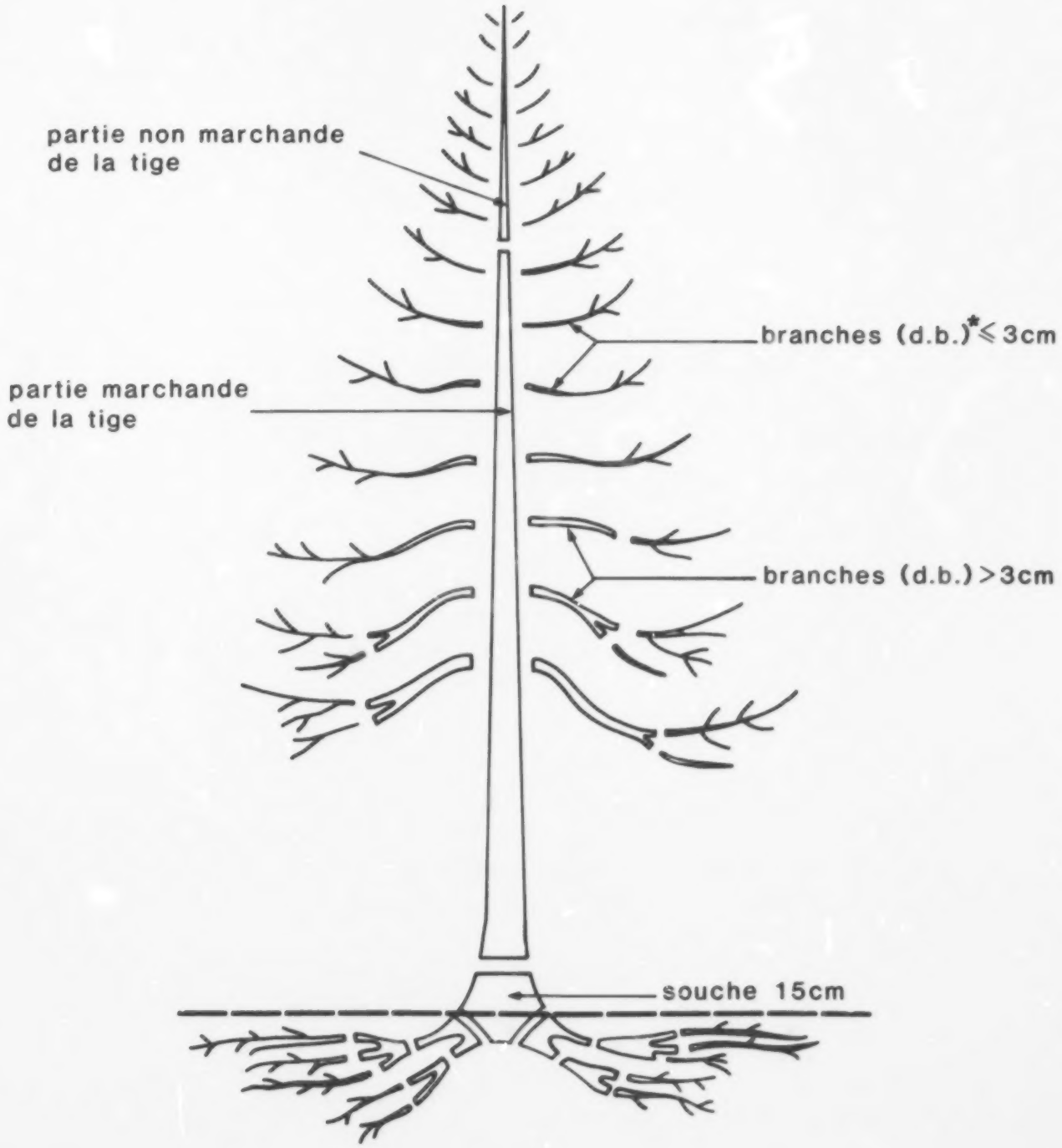


Figure 2. Description des composantes pour les essences résineuses (Adaptation de Young *et al.* 1964)

* (d.b.) = diamètre basal

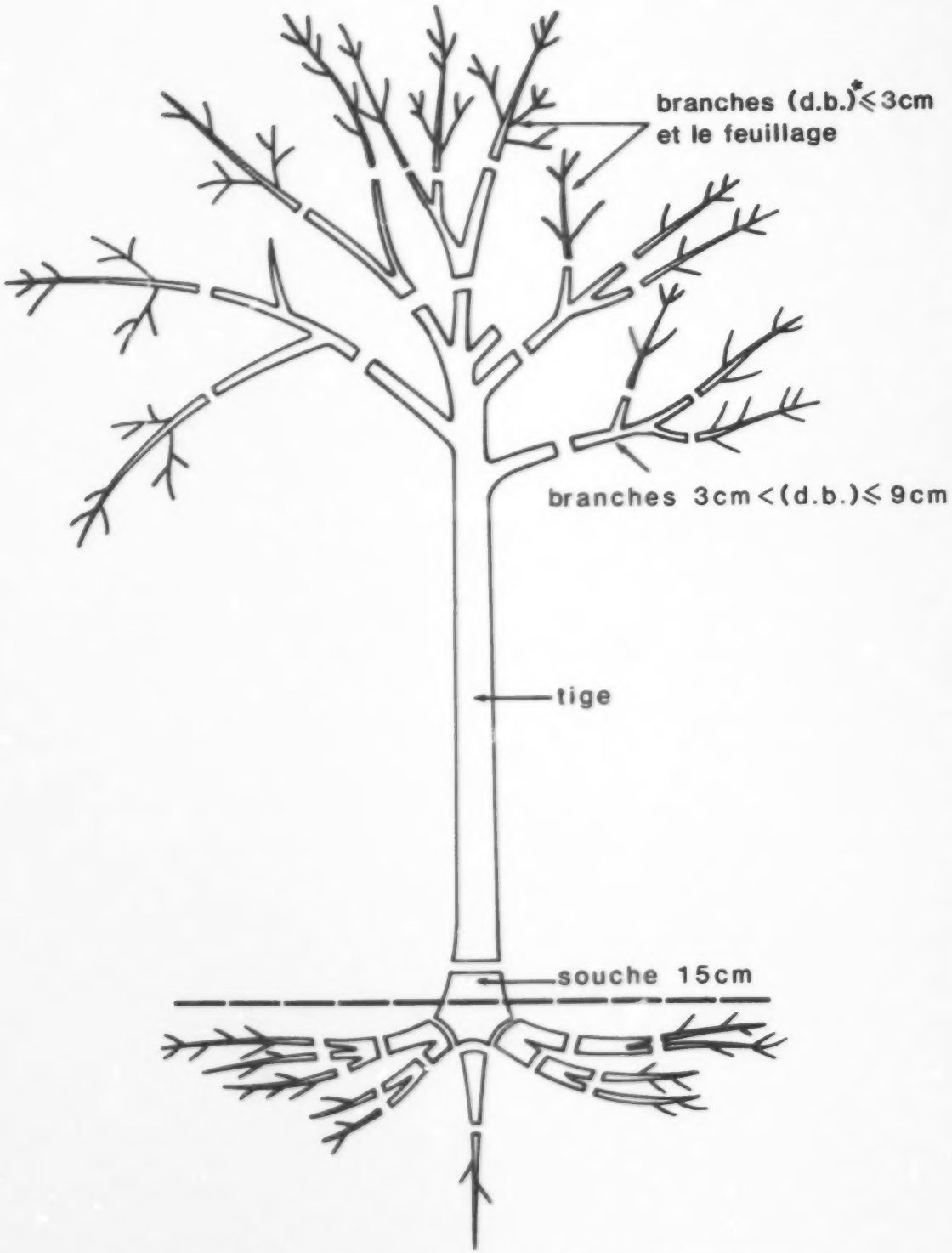


Figure 3. Description des composantes pour les essences feuillues

* (d.b.) = diamètre basal

ANNEXE 3

Limites d'application des équations des composantes de chaque essence

Annexe 3.1 Limites d'application des équations des essences résineuses*

COMPOSANTES	N	APPLICABILITÉ D (cm)	APPLICABILITÉ H (m)	APPLICABILITÉ M.A. †† (kg)
		PIN BLANC (PIB)		
TOTALE	56	1,5 - 54,2	2,3 - 28,6	0,3 - 1253,7
TIGE	56	1,5 - 54,2	2,3 - 28,6	0,2 - 1014,6
CIME	56	1,5 - 54,2	2,3 - 28,6	0,1 - 294,5
P.M.T. †	44	9,1 - 54,2	8,3 - 28,6	6,0 - 1011,8
BOIS P.M.T.	44	9,1 - 54,2	8,3 - 28,6	4,6 - 886,7
ÉCORCE P.M.T.	44	9,1 - 54,2	8,3 - 28,6	0,9 - 125,1
		PIN ROUGE (PIR)		
TOTALE	53	1,3 - 42,4	1,8 - 26,6	0,3 - 913,1
TIGE	53	1,3 - 42,4	1,8 - 26,6	0,2 - 761,7
CIME	53	1,3 - 42,4	1,8 - 26,6	0,1 - 158,2
P.M.T.	41	9,1 - 42,4	7,6 - 26,6	6,5 - 759,4
BOIS P.M.T.	41	9,1 - 42,4	7,6 - 26,6	5,3 - 713,6
ÉCORCE P.M.T.	41	9,1 - 42,4	7,6 - 26,6	1,2 - 45,8
		PIN GRIS (PIG)		
TOTALE	136	1,7 - 41,0	2,8 - 27,0	0,7 - 770,0
TIGE	136	1,7 - 41,0	2,8 - 27,0	0,4 - 644,5
CIME	136	1,7 - 41,0	2,8 - 27,0	0,2 - 126,2
P.M.T.	109	9,1 - 41,0	8,4 - 27,0	8,0 - 641,5
BOIS P.M.T.	109	9,1 - 41,0	8,4 - 27,0	7,2 - 599,7
ÉCORCE P.M.T.	109	9,1 - 41,0	8,4 - 27,0	0,8 - 41,8
		SAPIN BAUMIER (SAB)		
TOTALE	177	2,0 - 42,4	2,2 - 25,3	0,5 - 634,9
TIGE	177	2,0 - 42,4	2,2 - 25,3	0,4 - 546,4
CIME	177	2,0 - 42,4	2,2 - 25,3	0,1 - 134,0
P.M.T.	141	9,1 - 42,4	7,2 - 25,3	5,0 - 538,9
BOIS P.M.T.	141	9,1 - 42,4	7,2 - 25,3	4,3 - 433,0
ÉCORCE P.M.T.	141	9,1 - 42,4	7,2 - 25,3	0,7 - 105,9

Annexe 3.1 Suite*

COMPOSANTES	N	APPLICABILITÉ D (cm)	H (m)	M.A. ++ (kg)
		ÉPINETTE BLANCHE (EPB)		
TOTALE	79	2,8 - 43,5	3,1 - 26,3	1,5 - 662,3
TIGE	79	2,8 - 43,5	3,1 - 26,3	1,1 - 547,7
CIME	79	2,8 - 43,5	3,1 - 26,3	0,2 - 147,3
P.M.T. +	56	9,1 - 43,5	10,1 - 26,3	4,8 - 544,6
BOIS P.M.T.	56	9,1 - 43,5	10,1 - 26,3	4,2 - 485,9
ÉCORCE P.M.T.	56	9,1 - 43,5	10,1 - 26,3	0,6 - 62,7
		ÉPINETTE ROUGE (EPR)		
TOTALE	55	6,5 - 43,5	8,0 - 21,2	9,1 - 801,3
TIGE	55	6,5 - 43,5	8,0 - 21,2	7,8 - 599.2
CIME	55	6,5 - 43,5	8,0 - 21,2	0,8 - 202,0
P.M.T.	50	9,1 - 43,5	12,6 - 21,2	15,4 - 596,4
BOIS P.M.T.	50	9,1 - 43,5	12,6 - 21,2	14,0 - 540,1
ÉCORCE P.M.T.	50	9,1 - 43,5	12,6 - 21,2	1,4 - 56,3
		MÉLÈZE LARICIN (MEL)		
TOTALE	97	1,8 - 44,5	3,4 - 30,4	0,5 - 917,1
TIGE	97	1,8 - 44,5	3,4 - 30,4	0,4 - 783,0
CIME	97	1,8 - 44,5	3,4 - 30,4	0,1 - 134,1
P.M.T.	73	9,1 - 44,5	11,9 - 30,4	12,1 - 776,9
BOIS P.M.T.	73	9,1 - 44,5	11,9 - 30,4	10,9 - 717,4
ÉCORCE P.M.T.	73	9,1 - 44,5	11,9 - 30,4	1,2 - 59,5

* Ces limites sont valables pour les masses vertes et anhydres

\+ P.M.T.: Partie marchande de la tige.

++ M.A.: Masse anhydre

Annexe 3.2 Limites d'application des équations des essences feuillues*

COMPOSANTES	N	APPLICABILITÉ D (cm)	H (m)	M.A. ++ (kg)
		PEUPLIER FAUX-TREMBLE (PET)		
TOTALE	133	1,5 - 47,2	2,9 - 28,3	0,1 - 1038,4
P.M.T. +	116	9,1 - 47,2	11,7 - 28,3	7,7 - 920,0
CIME	116	9,1 - 47,2	11,7 - 28,3	4,6 - 167,8
BOIS P.M.T.	116	9,1 - 47,2	11,7 - 28,3	5,9 - 751,2
ÉCORCE P.M.T.	116	9,1 - 47,2	11,7 - 28,3	1,5 - 191,1
		BOULEAU A PAPIER (BOP)		
TOTALE	130	1,9 - 46,3	4,3 - 22,9	0,4 - 1311,7
P.M.T.	111	9,1 - 46,3	10,6 - 22,9	9,0 - 994,7
CIME	111	9,1 - 46,3	10,6 - 22,9	15,2 - 405,5
BOIS P.M.T.	111	9,1 - 46,3	10,6 - 22,9	8,1 - 897,7
ÉCORCE P.M.T.	111	9,1 - 46,3	10,6 - 22,9	0,9 - 155,9
		BOULEAU A PAPIER (BOP)		
TOTALE	101	1,7 - 43,6	3,5 - 23,9	0,6 - 989,0
P.M.T.	86	9,1 - 43,6	12,1 - 23,9	4,2 - 758,2
CIME	86	9,1 - 43,6	12,1 - 23,9	8,4 - 230,8
BOIS P.M.T.	86	9,1 - 43,6	12,1 - 23,9	3,7 - 615,8
ÉCORCE P.M.T.	86	9,1 - 43,6	12,1 - 23,9	0,5 - 142,4
		ÉRABLES (ERSP)		
TOTALE	123	2,0 - 43,6	4,6 - 25,4	1,4 - 1475,0
P.M.T.	105	9,1 - 43,6	12,0 - 25,4	8,2 - 1183,4
CIME	105	9,1 - 43,6	12,0 - 25,4	11,1 - 291,6
BOIS P.M.T.	105	9,1 - 43,6	12,0 - 25,4	7,2 - 1047,4
ECORCE P.M.T.	105	9,1 - 43,6	12,0 - 25,4	0,9 - 136,2

* Ces limites sont valables pour les masses vertes et anhydres

\+ P.M.T.: Partie marchande de la tige.

++ M.A.: Masse anhydre

POOR

QUALITY

ORIGINAL